



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI. - PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**RIESGO E INCERTIDUMBRE**

**LIC. ROBERTO CORTEGOSO**

**PALACIO DE MINERIA**

**1995**

# ANÁLISIS DE RIESGO

Una diferencia importante con el capítulo anterior es el grado de certeza en el flujo de caja. En el capítulo anterior se estudiaron los criterios para definir la conveniencia de una inversión basada en condiciones de certeza. Tal suposición, sin embargo, se adoptó sólo para presentar el estudio de los procedimientos optativos de evaluación de un proyecto.

El comportamiento único de los flujos de caja supuesto en el capítulo anterior es incierto, puesto que no es posible conocer con anticipación cuál de todos los hechos que pueden ocurrir y que tienen efecto en los flujos de caja ocurrirá efectivamente. Al no tener certeza sobre los flujos futuros de caja que ocurrirán cada inversión, se está en una situación de incertidumbre. Cada proyecto tiene asociado cierto grado de riesgo que no puede excluirse de su evaluación, puesto que hará variar su nivel de aceptabilidad respectivo.

El objetivo de este capítulo es analizar el problema de la medición del riesgo en los proyectos y los distintos criterios de inclusión y análisis para su evaluación. No se incluye en este estudio el riesgo de la cartera, que, aunque es un tema de alto interés, escapa al objetivo de este texto.

## 18.1 El riesgo en los proyectos

El riesgo de un proyecto se define como la variabilidad de los flujos de caja reales respecto a los estimados. Mientras más grande sea esta variabilidad, mayor es el riesgo del proyecto. De esta forma, el riesgo se manifiesta en la variabilidad de los rendimientos del proyecto, puesto que se calculan sobre la proyección de los flujos de caja.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(A_1 - \bar{A})^2 + (A_2 - \bar{A})^2 + \dots + (A_n - \bar{A})^2}{n}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(2.000 - 2.500)^2 + (2.500 - 2.500)^2 + (3.000 - 2.500)^2 + (250.000)^2 + (250.000)^2 + (250.000)^2}{6}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{250.000 + 0 + 250.000 + 250.000 + 250.000 + 250.000}{6}}$$

$$\sigma = \sqrt{150.000}$$

$$\sigma = 387,30$$

Si hubiera otra alternativa de inversión cuya desviación estándar fuese mayor que \$387,30; su riesgo sería mayor, puesto que estaría indicando una mayor dispersión de sus resultados. La desviación estándar, como se verá luego, se utiliza para determinar la probabilidad de ocurrencia de un hecho. No es adecuado utilizarla como única medida de riesgo, porque no discrimina en función del valor esperado. De esta forma, dos alternativas con valores esperados diferentes de sus retornos netos de fondos pueden tener desviaciones estándares iguales, requiriendo de una medición complementaria para identificar diferenciaciones en el riesgo.

El coeficiente de variación es, en este sentido, una unidad de medida de la dispersión relativa, que se calcula por la expresión:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{A}} \quad (18.3)$$

Aun cuando dos alternativas pudieran presentar desviaciones estándares iguales, si los valores esperados de sus flujos de caja son diferentes, este procedimiento indicará que, mientras mayor sea el coeficiente de variación, mayor es el riesgo relativo.

### 18.3 Métodos para tratar el riesgo

Para incluir el efecto del factor riesgo en la evaluación de proyectos de inversión se han desarrollado diversos métodos o enfoques que no siempre conducen a un idéntico resultado. La información disponible es, una vez más, uno de los elementos determinantes en la elección de uno u otro método.

El criterio subjetivo es uno de los métodos más comúnmente utilizados. Se basa en consideraciones de carácter informal de quien toma la decisión, no incorporando específicamente el riesgo del proyecto, salvo en su apreciación personal. Se ha intentado mejorar este método sugiriendo que se considere la expectativa media y la desviación estándar del VAN, lo cual, aunque otorga un carácter más objetivo a la inclusión del riesgo, no logra incorporarlo en toda su magnitud. De igual forma, el análisis de fluctuaciones de los valores optimistas, más probables y pesimistas del rendimiento del proyecto, sólo disminuye el grado de subjetividad de la evaluación del riesgo, pero sin eliminarla.

Los métodos basados en mediciones estadísticas, son quizás los que logran superar en mejor forma, aunque no definitivamente, el riesgo asociado a cada proyecto. Para ello, analizan la distribución de probabilidades de los flujos futuros

de caja para presentar a quien tome la decisión de aprobación o rechazo los valores probables de los rendimientos y de la dispersión de su distribución o probabilidad. En el apartado 18.4 se analiza este método para los casos de dependencia e independencia del flujo de caja respecto del tiempo.

Un método diferente de inclusión del riesgo en la evaluación es el del ajuste a la tasa de descuento. Con este método, el análisis se efectúa sólo sobre la tasa pertinente de descuento, sin entrar a ajustar o evaluar los flujos de caja del proyecto. Si bien este método presenta serias deficiencias, en términos prácticos es un procedimiento que permite solucionar las principales dificultades del riesgo. En la sección 18.5 se aborda nuevamente este tema.

Frente a las desventajas (que posteriormente se analizarán) respecto al método de ajuste a la tasa de descuento y con similares beneficios de orden práctico, está el método de la equivalencia a certidumbre. Según este criterio, quien decide está en condiciones de determinar su punto de indiferencia entre flujos de caja por percibir con certeza y otros, obviamente mayores, sujetos a riesgo. La sección 18.6 se destina a analizar este método.

Otro de los criterios que es preciso evaluar es el de los valores esperados. Este método, conocido comúnmente como análisis del árbol de decisiones, combina las probabilidades de ocurrencia de los resultados parciales y finales para calcular el valor esperado de su rendimiento. Aunque no incluye directamente la variabilidad de los flujos de caja del proyecto, ajusta los flujos al riesgo en función de la asignación de probabilidades. El apartado 18.7 se ocupa de este procedimiento.

El último método que se estudia en este texto es el análisis de sensibilidad, que si bien es una forma especial de considerar el riesgo, se analiza como caso particular en el capítulo 19, por la importancia práctica que ha adquirido. La aplicación de este criterio permite definir el efecto que tendrían sobre el resultado de la evaluación cambios en uno o más de los valores estimados en sus parámetros.

#### 18.4 Dependencia e Independencia de los flujos de caja en el tiempo

El análisis de riesgo en los proyectos de inversión se realiza de distinta forma según los flujos de caja en el tiempo, sean o no dependientes entre sí. Es decir, si el resultado de un período depende o no de lo que haya pasado en otro período anterior.

Cuando hay independencia entre las distribuciones de probabilidad de los flujos de caja futuros, el valor esperado del valor actual neto sería

$$VE(VAN) = \sum_{t=1}^n \frac{\bar{A}_t}{(1+i)^t} - I_0, \quad (18.4)$$

donde  $i$  es la tasa de descuento libre de riesgo. La desviación estándar de la distribución de probabilidades de este valor actual neto es<sup>4</sup>:

<sup>4</sup>Respecto a la derivación de la fórmula, se puede consultar HILLIER, Frederick. "The Derivation of Probabilistic Information for Evaluation of Risky Investments", *Management Science*, vol. 9, p. 433-457.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{t=0}^n \frac{\sigma_t^2}{(1+i)^{2t}}} \quad (18.5)$$

Incorporando en esta ecuación la expresión 18.1 resulta:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{x=1}^n \frac{[(A_x - \bar{A})^2 P_x]^t}{(1+i)^{2t}}} \quad (18.6)$$

que corresponde a la desviación estándar alrededor del valor esperado calculado por la expresión 18.4.

Además de la información proporcionada por las expresiones 18.4 y 18.6, es posible calcular la probabilidad de que el VAN sea superior o inferior a cierto monto de referencia. Para ello se resta el valor esperado del valor actual neto calculado en la expresión 18.4 de ese valor de referencia y se divide su resultado por la desviación estándar. Esto es:

$$z = \frac{X - VE(VAN)}{\sigma} \quad (18.7)$$

donde  $z$  es la variable estandarizada o el número de desviaciones estándar de la media (valor esperado del VAN).

Para determinar la probabilidad de que el VAN del proyecto sea menor o igual que  $x$ , se acude a una tabla de distribución normal, que muestra el área de la distribución normal que es  $x$  desviaciones estándares hacia la izquierda o derecha de la media.

Para ilustrar la aplicación de estas fórmulas, supóngase la existencia de una propuesta de inversión que requiere en el momento cero de \$ 100 000. Los flujos de caja futuros se proyectan a tres periodos con las siguientes probabilidades de ocurrencia:

PERIODO 1		PERIODO 2		PERIODO 3	
PROBA- BILIDAD	FLUJO DE CAJA	PROBA- BILIDAD	FLUJO DE CAJA	PROBA- BILIDAD	FLUJO DE CAJA
0.30	40 000	0.30	30 000	0.30	20 000
0.40	50 000	0.40	40 000	0.40	30 000
0.30	60 000	0.30	50 000	0.30	40 000

Aplicando la expresión 18.2, se obtiene que los valores esperados de los flujos de caja para cada periodo son \$ 50 000, \$ 40 000 y \$ 30 000.

De acuerdo con la fórmula 18.4, el valor esperado del VAN es, para una tasa libre de riesgo del 6%, de \$ 7 958.

Utilizando la fórmula 18.6, puede obtenerse la desviación estándar alrededor del valor esperado, de la siguiente forma:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{7\,746}{(1.06)^{2t}}} = 18\,490.$$

Se deja como una constante los 7 746, por cuanto la distribución de probabilidades de todos los períodos tiene la misma dispersión en relación con los valores esperados y, por lo tanto, sus desviaciones estándar son iguales.

Si se deseara calcular la probabilidad de que el VAN de este proyecto fuese igual o menor que cero, se utiliza la fórmula 18.7, con lo que se obtiene

$$z = \frac{0 - 7\,958}{18\,490} = -0.43$$

Recurriendo a una tabla de distribución normal, se obtiene que la probabilidad que se deseaba averiguar corresponde aproximadamente al 33%.

Hasta ahora se ha supuesto que los flujos de caja son independientes entre sí a lo largo del tiempo. Sin embargo, en la mayoría de los proyectos existe cierta dependencia entre los resultados de dos períodos. Es importante saber si existe o no dependencia entre los flujos, por las consecuencias que tienen sobre el análisis del riesgo. Si los flujos son dependientes, o sea, si están correlacionados a través del tiempo, la desviación estándar de la distribución de probabilidad de los valores actuales netos probables es mayor que si fueran independientes. A mayor correlación, mayor dispersión de la distribución de probabilidad.

Los flujos de caja estarán perfectamente correlacionados si la desviación del flujo de caja de un período alrededor de la media de la distribución de probabilidades en ese período implica que en todos los períodos futuros el flujo de caja se desviará exactamente de igual manera.

La desviación estándar de los flujos de caja perfectamente correlacionados de un proyecto se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$\sigma = \sum_{t=0}^n \frac{\sigma_t}{(1+i)^t} \quad (18.8)$$

Utilizando el mismo ejemplo anterior, se incorporan sus valores en esta fórmula, para calcular la siguiente desviación estándar:

$$\sigma = \sum_{t=1}^n \frac{7\,746}{(1.06)^t} = 20\,705.$$

Esto confirma que cuando los flujos de caja están perfectamente correlacionados, la desviación estándar y el riesgo son mayores que cuando existe independencia entre ellos.

Cuando los flujos de caja no se encuentran perfectamente correlacionados, es posible aplicar el modelo de correlación intermedia desarrollado por Frederick

Hillier<sup>4</sup>. En él se plantea que la desviación estándar para un flujo de caja que no está perfectamente correlacionado se encuentra en algún punto intermedio entre las dos desviaciones antes calculadas. El problema de su cálculo reside en que incorpora en un mismo modelo tanto flujos perfectamente correlacionados como independientes. La dificultad práctica más relevante es la necesidad de clasificar como independientes o perfectamente correlacionadas a las distintas variables del flujo de caja.

David Hertz<sup>5</sup> propuso un modelo de simulación integral para calcular los resultados probables, así como su dispersión. Su modelo se basa en la definición de 9 factores principales del proyecto que influyen en el resultado de la evaluación: dimensión del mercado, precios de venta, tasa de crecimiento del mercado, participación en el mercado, inversión requerida, valor de recuperación de la inversión, costos operativos, costos fijos y vida útil de los equipos.

Para cada factor se estiman los valores probables que asumiría y se le asigna una probabilidad de ocurrencia a cada valor sólo como referencia. Sin calcular un valor esperado de cada factor se combinan al azar los 9 factores para valores probables cambiantes. Es decir, se calculan distintos rendimientos sobre la inversión simulando valores cambiantes para cada uno de los 9 factores.

Con los resultados observados mediante este procedimiento se elabora una tabla de frecuencia sobre la que se calcula el resultado probable y su dispersión o riesgo.

El modelo de simulación de Hertz es similar a uno de los criterios de análisis de sensibilidad que se desarrolla en el próximo capítulo. Sin embargo, el modelo se ampliará generalizándolo al uso de cualquier variable y para calcular no sólo la tasa media de rendimiento sobre la inversión, sino que cualquiera de los criterios de decisión analizados en el capítulo anterior.

### 18.5 El método del ajuste a la tasa de descuento

Una forma de ajustar los flujos de caja consiste en hacerlo mediante correcciones en la tasa de descuento. A mayor riesgo, mayor debe ser la tasa para castigar la rentabilidad del proyecto. De esta forma, un proyecto rentable evaluado en función de una tasa libre de riesgo puede resultar no rentable, si se descuenta a una tasa ajustada.

El principal problema de este método es determinar la tasa de descuento apropiada para cada proyecto. Al no considerar explícitamente información tan relevante como la distribución de probabilidades del flujo de caja proyectado, muchos autores definen este método como una aproximación imperfecta para incorporar el factor riesgo a los proyectos.

---

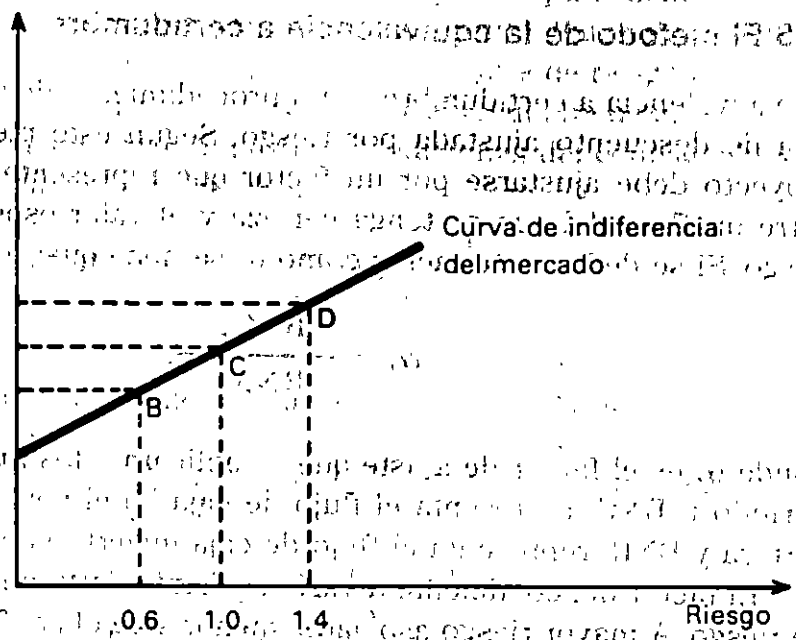
<sup>4</sup> HILLIER, *loc. cit.*

<sup>5</sup> HERTZ, David B. "La incertidumbre y el riesgo en la evaluación de proyectos de inversión". *Administración de empresas*, vol. 1, p. 139.

Gráfico 18.1:

Tasa de rendimiento requerida

Prima por riesgo  
Tasa libre de riesgos



Para ajustar adecuadamente la tasa de descuento, se define una curva de indiferencia del mercado, cuya función relaciona el riesgo y los rendimientos con la tasa de descuento. La curva de indiferencia del mercado se ilustra en el Gráfico 18.1, cuyos ejes representan la tasa de rendimiento necesaria y el riesgo expresado en términos de un coeficiente de variación.

La curva de indiferencia del mercado graficada indica que los flujos de caja asociados a un evento sin riesgo se descuentan a una tasa libre de riesgo del 5%, que corresponde a una situación de certeza. Los puntos B, C y D indican que para coeficientes de variación de 0.6, 1.0 y 1.4 se precisan tasas de descuento de 8.0 y 12%, respectivamente. Al aumentar el riesgo de un proyecto se necesitan rendimientos mayores para que ameriten aprobarse.

De esta forma, el mayor grado de riesgo se compensa por una mayor tasa de descuento que tiende a castigar el proyecto. De acuerdo con esto, el cálculo del valor actual neto se efectúa mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+f)^t} \tag{18.9}$$

siendo  $BN_t$  los beneficios netos del período  $t$ , y  $f$  la tasa de descuento ajustada por riesgo, que resulta de aplicar la siguiente expresión:

$$f = i + p \tag{18.10}$$

donde  $i$  es la tasa libre de riesgo y  $p$  es la prima por riesgo que exige el inversionista para compensar una inversión con retornos inciertos.



Un procedimiento distinto sugiere John Canada, para tratar la equivalencia por certeza, o método de expectativa y variaciones, como el lo denomina, consistente en determinar la variación de la expectativa relacionando el resultado previsto con la variación de ese resultado, mediante la expresión:

$$V = \mu - \alpha \sigma \quad (18.15)$$

donde:  $V$  es la variación de la expectativa,  $\mu$  es la media o resultado monetario esperado,  $\sigma$  la desviación estándar de ese resultado y  $\alpha$  el coeficiente del temor al riesgo que varía por un factor de 1 a 10.

La utilidad de este procedimiento se manifiesta en el proceso de comparación entre alternativas de inversión. Por ejemplo, si una alternativa A de inversión se asocia a un valor actual esperado de \$ 20 000 y su  $\alpha$  es 0.6 cuando la desviación estándar es de \$ 4 000, se obtiene una variación de la expectativa de \$ 11 000, reemplazando con estos valores en la expresión anterior. Estos son:

$$V = 20,000 - 0.6(4,000)$$

Si esta alternativa se comparase con otro cuyo valor actual esperado fuese de sólo \$ 16 000, y su  $\alpha$  de 0.8, cuando la desviación estándar es de \$ 4 000, se obtendría una variación de la expectativa de \$ 11 800, resultante de:

$$V = 16,000 - 0.8(4,000)$$

De acuerdo con esto, la segunda alternativa es superior a la primera.

### 18.7. Uso del árbol de decisión

El árbol de decisión es una técnica gráfica que permite representar y analizar una serie de decisiones futuras de carácter secuencial a través del tiempo.

Cada decisión se representa gráficamente por un cuadrado con un número dispuesto en una bifurcación del árbol de decisión. Cada rama que se origina en este punto representa una alternativa de acción. Además de los puntos de decisión, en este árbol se expresan, mediante círculos, los sucesos aleatorios que influyen en los resultados. A cada rama que parte de estos sucesos se le asigna una probabilidad de ocurrencia. De esta forma, el árbol representa todas las combinaciones posibles de decisiones y sucesos, permitiendo estimar un valor esperado del resultado final, como un valor actual neto, utilidad u otro.

Supóngase, a manera de ejemplo, que se estudia el lanzamiento de un nuevo producto. Las posibilidades en estudio son introducirlo en nivel nacional o regional. Si se decide lanzar el producto regionalmente, es posible posteriormente hacerlo a nivel nacional, si el resultado regional así lo recomendará.

En la Figura 18.1 se representa un diagrama de un árbol de decisión para este caso, en el cual cada ramificación conduce a un cierto valor actual neto diferente.

Para tomar la decisión óptima, se analizan los sucesos de las alternativas de decisión más cercanas al final del árbol, calculando el valor esperado de sus valores actuales netos y optando por aquella que proporcione el mayor valor esperado del VAN. Por ejemplo, la última decisión de nuestro caso es la [2], que presenta dos sucesos de alternativa. El valor esperado del suceso (C) se calcula aplicando la fórmula 18.2, de la siguiente forma:

$$\begin{array}{r} 0.60 \times 4\,000 = 2\,400 \\ 0.10 \times 1\,000 = 100 \\ 0.30 \times (2\,000) = (600) \\ \hline \text{VE(VAN)} = 1\,900 \end{array}$$

que representa el valor esperado del VAN en el caso de ampliar la introducción a nivel nacional.

En el caso de continuar en nivel regional se obtiene, por el mismo procedimiento, el siguiente resultado:

$$\begin{array}{r} 0.60 \times 2\,000 = 1\,200 \\ 0.10 \times 1\,500 = 150 \\ 0.30 \times 1\,000 = 300 \\ \hline \text{VE(VAN)} = 1\,650 \end{array}$$

Por lo tanto, la decisión será ampliar a nivel nacional, porque retorna un VAN esperado mayor.

La siguiente decisión se refiere a la introducción inicial. Si es a nivel regional, existe un 70% de posibilidades de que la demanda sea alta. Si así fuese, el VAN esperado sería de 1 900, que correspondería al resultado de la decisión que se tomaría de encontrarse en ese punto de decisión. Aplicando el procedimiento anterior, se obtiene:

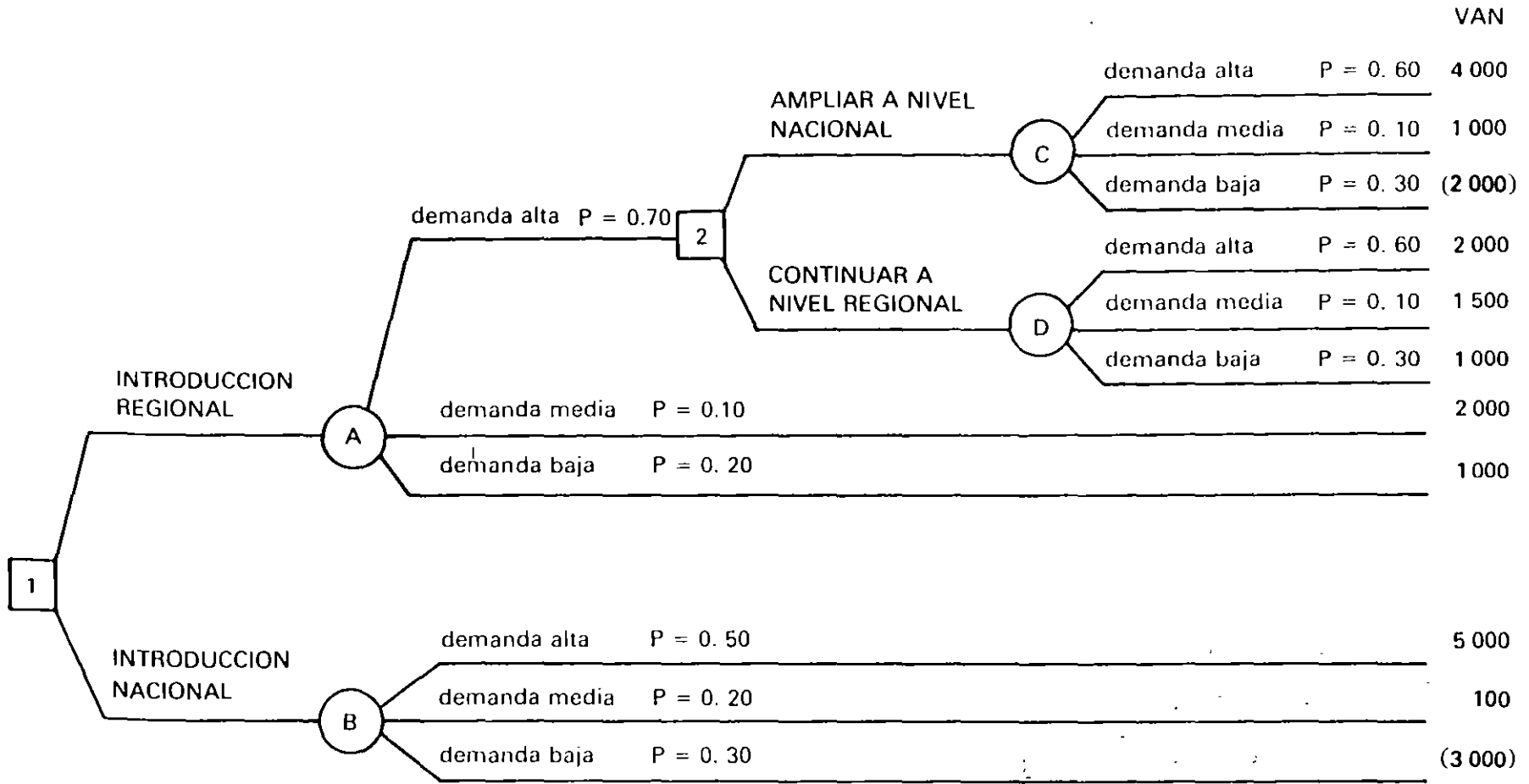
$$\begin{array}{r} 0.70 \times 1\,900 = 1\,330 \\ 0.10 \times 2\,000 = 200 \\ 0.20 \times 1\,000 = 200 \\ \hline \text{VE(VAN)} = 1\,730 \end{array}$$

Para la alternativa de introducción nacional se tendría:

$$\begin{array}{r} 0.50 \times 5\,000 = 2\,500 \\ 0.20 \times 100 = 20 \\ 0.30 \times (3\,000) = (900) \\ \hline \text{VE(VAN)} = 1\,620 \end{array}$$

En consecuencia, se optaría por una introducción inicial en el nivel regional, que luego se ampliaría a nivel nacional. Esta combinación de decisiones es la que maximiza el valor esperado de los resultados.

Figura 18.1. Arbol de decisión para lanzamiento de un nuevo producto



Este método, así tratado, no incluye el efecto total del riesgo, puesto que no considera la posible dispersión de los resultados ni las probabilidades de las desviaciones. En el ejemplo anterior, la decisión se hacía sobre la base de un valor actual neto promedio. Sin embargo, es fácil apreciar que, dependiendo de su grado de aversión al riesgo, algunos inversionistas podrían optar por continuar regionalmente.

Una forma de obviar este problema es mediante los árboles de decisión probabilísticos, que, además de las características señaladas, permiten que todas las cantidades, variables y sucesos aleatorios puedan representarse por distribuciones continuas de probabilidad. De igual forma, la información acerca del resultado de cualquier combinación de decisiones puede ser expresada probabilísticamente, lo que permite su comparación considerando sus respectivas distribuciones de probabilidad.

### 18.8 Modelo de simulación de Monte Carlo

El modelo de Monte Carlo, llamado también método de ensayos estadísticos, es una técnica de simulación de situaciones inciertas que permite definir valores esperados para variables no controlables, mediante la selección aleatoria de valores, donde la probabilidad de elegir entre todos los resultados posibles está en estricta relación con sus respectivas distribuciones de probabilidades.

Si las variables inciertas relevantes en un proyecto fuesen, por ejemplo, la demanda y la participación de mercado, deberá aplicarse en ambas la simulación para estimar su comportamiento en el futuro. Supóngase que estudios realizados señalan que la demanda global esperada del mercado tiene la siguiente distribución de probabilidades:

DEMANDA	PROBABILIDAD
\$ 200 000	0.10
250 000	0.25
300 000	0.35
350 000	0.15
400 000	0.10
450 000	0.05

Al mismo tiempo, supóngase que la participación en el mercado para el proyecto, sea también una variable incierta, para la cual se estima la siguiente distribución de probabilidades:

PARTICIPACION	PROBABILIDAD
0.08	0.26
0.09	0.22
0.10	0.16
0.11	0.13
0.12	0.10
0.13	0.07
0.14	0.05
0.15	0.01

Supóngase, además, que la demanda global del mercado está correlacionada con la tasa de crecimiento de la población, que se estima en un 2% anual a futuro. El precio y los costos asociados al proyecto se suponen conocidos o menos incierto su resultado futuro.

El primer paso en la solución consiste en expresar matemáticamente el problema. En este caso, la demanda por año que podría enfrentar el proyecto se puede expresar como:

$$D_p = D_g \cdot p$$

donde  $D_p$  corresponde a la demanda del proyecto,  $D_g$  a la demanda global y  $p$  al porcentaje de participación del proyecto en el mercado.

La tasa de crecimiento de la demanda se incorporará al final como un factor de incremento sobre la demanda del proyecto. Una forma alternativa es incorporarlo en la fórmula anterior, lo que permite obtener el mismo resultado pero con cálculos más complejos.

El siguiente paso del método Monte Carlo es la especificación de la distribución de probabilidades de cada variable. En el ejemplo, las variables que deben especificar su distribución de probabilidades son la demanda global del mercado y la participación del proyecto. En ambos casos se deberá posteriormente calcular la distribución de probabilidad acumulada y la asignación de rangos de números entre 0 y 99 (o sea, 100 números). A continuación se muestran estos cálculos para las dos variables en estudio.

DEMANDA GLOBAL	DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD	PROBABILIDAD ACUMULADA	ASIGNACION DE NUMEROS REPRESENTATIVOS
200 000	0.10	0.10	0 - 9
250 000	0.25	0.35	10 - 34
300 000	0.35	0.70	35 - 69
350 000	0.15	0.85	70 - 84
400 000	0.10	0.95	85 - 94
450 000	0.05	1.00	95 - 99

PARTICIPACION EN EL MERCADO	DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD	PROBABILIDAD ACUMULADA	ASIGNACION DE NUMEROS REPRESENTATIVOS
0.08	0.26	0.26	0 - 25
0.09	0.22	0.48	26 - 47
0.10	0.16	0.64	48 - 63
0.11	0.13	0.77	64 - 76
0.12	0.10	0.87	77 - 86
0.13	0.07	0.94	87 - 93
0.14	0.05	0.99	94 - 98
0.15	0.01	1.00	99

La asignación de números representativos se efectúa en proporción a la probabilidad acumulada. Así, por ejemplo, si el 10% se encuentra en el rango de hasta 200 000, deben asignarse 10 números representativos (0 al 9). Como hasta 250 000 hay un 35% de probabilidades, se asignan 35 números representativos (0 al 34).

La etapa siguiente del modelo requiere tomar al azar números aleatorios. Para ello, se puede usar una tabla de números aleatorios como la de la Figura 18.2. Cada número seleccionado debe ubicarse en la columna "Asignación de números representativos". Una vez localizado, se da el valor correspondiente de demanda global, el cual se ajusta por el porcentaje de participación en el mercado obtenido de igual forma. Por ejemplo, si se usa la tabla de números aleatorios de arriba hacia abajo se encuentra que el primer número es 23, el cual se ubica en el rango 10-34 de la asignación de números representativos, del cuadro de demanda global, lo que hace seleccionar el primer valor de 250 000. El segundo número aleatorio es 05, el cual se ubica en el rango 0-25 de la asignación de números representativos de la participación del proyecto en el mercado, lo que hace seleccionar el valor de 0.08.

De acuerdo con esto, la demanda esperada para el proyecto en el primer año corresponde a:

$$D_p = 250\,000 \times 0.08 = 20\,000$$

En el mismo procedimiento se repite un número suficiente de veces como para que la probabilidad de elegir entre todos los resultados posibles, guarde estrecha relación con sus distribuciones de probabilidades. En el ejemplo se toman 100 pruebas para cada variable, obteniéndose los resultados que se indican.

Figura 18.2. Tabla de números aleatorios

1	23 15	75 48	50 01	83 72	59 93	76 24	97 08	86 95	23 03	67 44
2	05 54	55 50	43 10	53 74	35 08	90 61	18 37	44 10	96 22	13 43
3	14 87	16 03	50 32	40 43	62 23	50 05	10 03	22 11	54 38	08 34
4	38 97	67 49	51 94	05 17	58 53	78 80	59 01	94 32	42 87	16 95
5	97 31	26 17	18 99	75 53	08 70	94 25	12 58	41 54	88 21	05 13
6	11 74	26 93	81 44	33 93	08 72	32 79	73 31	18 22	64 70	68 50
7	43 36	12 88	59 11	01 64	56 23	93 00	90 04	99 43	64 07	40 36
8	93 80	62 04	78 38	26 80	44 91	55 75	11 89	32 58	47 55	25 71
9	049 54	01 31	81 08	42 98	41 87	69 53	82 96	61 77	73 80	95 27
10	036 76	87 26	33 37	94 82	15 69	41 95	96 86	70 45	27 48	38 80
11	07 09	25 23	92 24	62 71	26 07	06 55	84 53	44 67	33 84	53 20
12	43 31	00 10	81 44	86 38	03 07	52 55	51 61	48 89	74 29	46 47
13	61 57	00 63	60 06	17 36	37 75	63 14	89 51	23 35	01 74	69 93
14	31 35	28 37	99 10	77 91	89 41	31 57	97 64	48 62	58 48	69 19
15	57 04	88 65	26 27	79 59	36 82	90 52	95 65	46 35	06 53	22 54
16	09 24	34 42	00 68	72 10	71 37	30 72	97 57	56 09	29 82	76 50
17	97 95	53 50	18 40	89 48	83 29	52 23	08 25	21 22	53 26	15 87
18	93 73	25 95	70 43	78 19	88 85	56 67	16 68	26 95	99 64	45 69
19	72 62	11 12	25 00	92 26	82 64	35 66	65 94	34 71	68 75	18 67
20	61 02	07 44	18 45	37 12	07 94	95 91	73 78	66 99	53 61	93 78
21	97 83	98 54	74 33	05 59	17 18	45 47	35 41	44 22	03 42	30 00
22	89 16	09 71	92 22	23 29	06 37	35 05	54 54	89 88	43 81	63 61
23	25 96	68 82	20 62	87 17	92 65	02 82	35 28	62 84	91 95	48 83
24	81 44	33 17	19 05	04 95	48 06	74 69	00 75	67 65	01 71	65 45
25	11 32	25 49	31 42	36 23	43 86	08 62	49 76	67 42	24 52	32 45

la probabilidad de que la demanda del proyecto se encuentre bajo un determinado valor. En el siguiente cuadro se aprecia, por ejemplo, que la probabilidad de que la demanda del proyecto sea menor o igual que 39.999 unidades, es de un 86%.

RANGO TOTAL DE DEMANDA DEL PROYECTO	NUMERO DE OBSERVACIONES EN EL RANGO	DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES	DISTRIBUCION ACUMULADA DE PROBABILIDADES
15 000-19 999	6	6%	6%
20 000-24 999	26	26%	32%
25 000-29 999	22	22%	54%
30 000-34 999	13	13%	67%
35 000-39 999	19	19%	86%
40 000-44 999	5	5%	91%
45 000-49 999	5	5%	96%
50 000-54 999	0	0%	96%
55 000-59 999	3	3%	99%
60 000-64 999	1	1%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>	

Por otra parte, el valor esperado de la demanda del proyecto para el primer año es de 31.150 unidades. Luego, si la tasa de crecimiento estimada fuese de un 2% anual, podría esperarse una demanda para el proyecto de:

AÑO	DEMANDA
1	31 150
2	31 773
3	32 408
4	33 057
5	33 718

**18.9 Resumen**

En el capítulo anterior se analizaron los conceptos y los principales criterios de análisis de una inversión de capital cuando los flujos de caja del proyecto se conocían con certeza. En este capítulo ese supuesto se abandona, incorporando el factor riesgo a la decisión. Por riesgo se define la variabilidad de los flujos de caja reales respecto a los estimados. Su medición se realiza obteniendo la desviación estándar de la distribución de probabilidades de los posibles flujos de caja. Se presentó el coeficiente de variación como una unidad de medida relativa del riesgo.

Para la evaluación de proyectos riesgosos pueden utilizarse diversos enfoques. Un método es el de ajustar la tasa de descuento conforme a una tasa adicional correspondiente a una prima por riesgo. Este método supone un riesgo por el tiempo en sí, en vez de considerarlo en función de circunstancias condicionantes del proyecto en el tiempo. Otro método consiste en castigar los flujos de caja según un índice que represente un factor de ajuste por riesgo. Este método, denominado equivalencia a certidumbre, elimina la deficiencia del anterior, aunque ninguno de los dos supone todas las limitaciones.

Los métodos probabilísticos parecen ser conceptualmente los más adecuados, aunque subsiste en ellos el problema de calcular una probabilidad de ocurrencia

que sea confiable. Dos son los enfoques que se pueden identificar en este método, según cual sea la correlación que exista entre los flujos de caja en el tiempo. Cuando no existe correlación, o sea, cuando son independientes entre sí, el riesgo es sustancialmente menor que cuando los flujos están correlacionados en forma perfecta. Es decir, cuando un flujo se desvía, todos los siguientes varían exactamente de la misma manera. Entre ambas posiciones de dependencia o independencia existen puntos intermedios cuyos riesgos son también intermedios entre las desviaciones estándar de aquéllas.

Otro criterio de análisis que se definió fue el árbol de decisiones, el cual, combinando las probabilidades de ocurrencia de los resultados parciales y finales estimados, calcula el valor esperado del resultado de las distintas alternativas posibles.

### PREGUNTAS Y PROBLEMAS

1. ¿Por qué la desviación estándar del flujo de caja de una inversión podría no ser una unidad de medida adecuada del riesgo del proyecto?
2. ¿Cómo podría llegarse a igual resultado ajustando la tasa de descuento o los flujos de caja de un proyecto por el efecto riesgo?
3. ¿Qué validez le asigna usted al criterio subjetivo en el tratamiento del riesgo? Estimar probabilidades de ocurrencia para un flujo de caja, ¿no sería en parte una aplicación del criterio subjetivo?
4. La desviación estándar es útil para calcular el riesgo sólo si se la emplea en el cálculo de la variable estandarizada para determinar un área bajo una distribución normal. Comente.
5. ¿Cómo afectaría a la decisión de aceptación o rechazo de una inversión el grado de correlación existente entre los flujos de caja del proyecto?
6. ¿Qué aplicación tiene el método de expectativas y variación en el análisis del riesgo? ¿Qué relación tiene con el método de equivalencia a certidumbre?
7. ¿En qué casos se recomienda el uso del árbol de decisiones?
8. Al estimar una propuesta de inversión se consideraron los siguientes flujos de caja anuales, dependiendo de la situación económica esperada del país:

SITUACION ECONOMICA ESPERADA	FLUJO DE FONDOS ANUALES	
	PROBABILIDAD	FLUJO
Alta recesión	0.10	70 000
Moderada recesión	0.25	100 000
Crecimiento normal	0.30	150 000
Moderado sobrecrecimiento	0.25	200 000
Alto crecimiento	0.10	230 000

Determine:

- a) El valor esperado de la distribución
  - b) La desviación estándar
  - c) El coeficiente de variación
- ¿Qué significa cada uno de estos conceptos? ¿Cómo se utilizan en la medición del riesgo?
9. En el estudio de un proyecto que requiere una inversión de \$ 100 000, se ha estimado la siguiente distribución de probabilidades de los flujos de caja:



FLUJO NETO DE CAJA	PROBABILIDADES DE OCURRENCIA			
	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4
20 000	0.20	0.20	0.20	0.20
45 000	0.30	0.30	0.40	0.40
70 000	0.30	0.10	0.10	0.20
80 000	0.20	0.30	0.30	0.20

La tasa de descuento libre de riesgo es del 5%. Determine la probabilidad de que el proyecto tenga un valor actual neto igual o menor que cero, suponiendo que la distribución fuese normal y continua.

10. En el estudio de un proyecto de inversión se detecta la siguiente situación: es posible invertir hoy \$ 1 000 000 en la instalación de una planta de tamaño pequeño, que permitiría obtener con toda seguridad un VAN de \$ 170 000 dentro de un año.

Sin embargo, si como alternativa se invierte \$ 1 400 000 en una planta mayor, podría incursionarse en otros mercados, lo que permitiría obtener, en 6 meses, ya sea un VAN de \$ 320 000, con un 60% de probabilidades, o un VAN negativo de \$ 8 000, con un 40% de probabilidad. Para invertir en esta alternativa se requeriría de la obtención de un préstamo por los \$ 400 000 adicionales, por los que debería devolverse \$ 420 000 al finalizar el año.

También se ha previsto que al inicio del próximo año podría invertirse \$ 880 000 en una ampliación, si se dispusiese de ellos, lo que reportaría un VAN positivo de \$ 180 000, con un 80% de posibilidades, o un VAN negativo de \$ 60 000, con una probabilidad del 20%.

11. Para estimar la demanda de un proyecto con estacionalidades trimestrales se obtuvo, en un estudio de su perfil, la siguiente información para el año 1987:

DEMANDA	PROBABILIDAD
1 000 000	0.20
1 100 000	0.30
1 200 000	0.35
1 300 000	0.15

Se espera una participación en el mercado que tendría la siguiente distribución:

PARTICIPACION	PROBABILIDAD
2%	0.30
3%	0.45
4%	0.25

El proyecto se iniciaría en 1988, donde se espera un crecimiento del mercado de un 5%. Los índices de estacionalidad calculados previamente corresponden a:

Trimestre 1	0.82
Trimestre 2	1.02
Trimestre 3	0.91
Trimestre 4	0.85
	3.60

¿Cuál es la demanda esperada trimestralmente para 1988?

Considere la siguiente tabla de números aleatorios. Uselos de izquierda a derecha a partir de la primera línea y asígnelos alternadamente al cálculo de la demanda y de la participación en el mercado.

81 44	33 93	08 72	32 79	73 31	18 22	64 70	68 50
59 11	01 64	56 23	93 00	90 04	99 43	64 07	40 36
78 38	26 80	44 91	55 75	11 89	32 58	47 55	25 71
81 08	42 98	41 87	69 53	82 96	61 77	73 80	95 27
33 37	94 82	15 69	41 95	96 86	70 45	27 48	38 80
92 24	62 71	26 07	06 55	84 53	44 67	33 84	53 20
81 44	86 38	03 07	52 55	51 61	48 89	74 29	46 47
60 06	17 36	37 75	63 14	89 51	23 35	01 74	69 93
99 10	77 91	89 41	31 57	97 64	48 62	58 48	69 19
26 27	79 59	36 82	90 52	95 65	46 35	06 53	22 54
00 68	72 10	71 37	30 72	97 57	56 09	29 82	76 50
18 40	89 48	83 29	52 23	08 25	21 22	53 26	15 87
70 43	78 19	88 85	56 67	16 68	26 95	99 64	45 69
25 00	92 26	82 64	35 66	65 94	34 71	68 75	18 67
18 45	37 12	07 94	95 91	73 78	66 99	53 61	93 78
74 33	05 59	17 18	45 47	35 41	44 22	03 42	30 00
92 22	23 29	06 37	35 05	54 54	89 88	43 81	63 61
20 62	87 17	92 65	02 82	35 28	62 84	91 95	48 83
19 05	04 95	48 06	74 69	00 75	67 65	01 71	65 45
31 42	36 23	43 86	08 62	49 76	67 42	24 52	32 45

### CASO: LA ESCONDIDA

David Blaise, ingeniero de minas, y su hermana Blanca, geóloga, se habían reunido para decidir el destino de 50 millones de pesos que habían logrado reunir durante varios años de esforzado trabajo. Las alternativas analizadas eran varias. Sin embargo, sólo dos, excluyentes entre sí, ya que demandarían la totalidad de los fondos ahorrados, aparecían como las más atractivas.

La primera alternativa consistía en comprar la mina "La Escondida" con mineral de cobre de las especies bornita y calcocina. Las reservas estimadas toleraban una explotación de 20 toneladas de mineral diariamente durante 5 años.

La segunda alternativa consistía en ampliar la planta de beneficio de minerales que poseían y arrendarla a la familia Liebor, poderosos mineros de la zona.

Para David, la mejor alternativa era ampliar la planta de beneficio y arrendársela a los Liebor. Sin embargo, la opinión de Blanca era comprar "La Escondida".

"Arrendar la planta es dinero seguro, ya que nos ofrecen un contrato de arrendamiento a 5 años", reiteraba David.

"Seguro?", señaló sorprendida Blanca, "¿tú llamas seguro un contrato que nos paga el equivalente a una onza troy de oro por día? Bien, sabes lo inestable que es el precio internacional del oro. Hoy día, a US\$ 400 la onza, obviamente es bueno, pero analiza los precios proyectados por los organismos especializados" (Anexo 1).

"Estoy de acuerdo en que el precio del oro es muy variable", replicó David, "pero lo son mucho más los resultados de los diferentes reconocimientos mineros que se realizaron en la 'La Escondida' y que mostraban que las leyes de cobre fino variaban entre 1.5% y 4.0%". (Anexo 2)

La evaluación del proyecto será sensible a las variaciones de uno o más parámetros si, al incluir estas variaciones en el criterio de evaluación empleado, la predeción inicial cambia. El análisis de sensibilidad, a través de los diferentes modelos que se definirán posteriormente, revela el efecto que sobre la rentabilidad tiene las variaciones en los pronósticos de las variables relevantes.

Visualizar qué variables tienen mayor efecto en el resultado frente a distintos grados de error en su estimación, permite decidir acerca de la necesidad de realizar estudios más profundos de esas variables, con el objeto de mejorar las estimaciones y reducir el grado de riesgo por error.

La repercusión que un error en una variable tiene sobre el resultado de la evaluación varía, dependiendo del momento de la vida económica del proyecto en que ese error se cometa. El valor tiempo del dinero explica que errores en los periodos finales del flujo de caja para la evaluación tengan menor influencia que los errores en los periodos más cercanos. Sin embargo, son más frecuentes las equivocaciones en las estimaciones futuras, por lo incierta que resulta la proyección de cualquier variable incontrolable, como por ejemplo, los cambios en los niveles de los precios reales del producto o de sus insumos.

Dependiendo del número de variables que se sensibilicen simultáneamente, el análisis se puede clasificar como unidimensional o multidimensional. En el análisis unidimensional, la sensibilización se aplica a una sola variable, mientras que en el multidimensional se examinan los efectos sobre los resultados que se producen por la incorporación de variables simultáneas en dos o más variables relevantes.

Aun cuando la sensibilización se aplica sobre las variables económico-financieras contenidas en el flujo de caja del proyecto, su ámbito de acción puede comprender cualquiera de las variables técnicas o de mercado, que son en definitiva las que configuran la proyección de los estados financieros. En otras palabras, la sensibilización de factores como la localización, el tamaño o la tecnología se reduce al análisis de sus inferencias económicas en el flujo de caja.

## 19.2. El modelo unidimensional de la sensibilización del VAN

El análisis unidimensional de la sensibilización del VAN puede realizarse de dos formas. Una, determinando hasta dónde pueden modificarse las variables para que el proyecto siga siendo rentable, y la otra haciendo cambios en los valores de las variables, para ver cómo se modifica el VAN del proyecto.

Puesto que esta segunda forma se traduce en elaborar nuevos flujos de caja que deben evaluarse de acuerdo con los criterios tradicionales presentados en el capítulo 17, en este apartado se abocará un modelo matemático simple para medir la máxima variación posible en cada variable para que el proyecto siga siendo rentable. En otras palabras, para que el VAN sea, por definición, cero.

El principio que es el fundamento de este modelo define a cada elemento del flujo de caja como el de más probable ocurrencia. Luego, la sensibilización de una variable siempre se hará sobre la evaluación preliminar.

<sup>1</sup> Nótese que si se sensibiliza una variable cualquiera y se determina su máxima variación para que el proyecto siga siendo rentable y se incluye este valor en el flujo para sensibilizar otra variable, esta última necesariamente se mantendrá inalterable, puesto que aquella ya ha llevado el VAN a su límite cero.

Como se planteó en el capítulo 17, el VAN es la diferencia entre los flujos de ingresos y egresos actualizados del proyecto. Por lo tanto, para que el VAN sea igual a cero, debe cumplirse que la inversión inicial sea igual al flujo de ingresos actualizados menos el flujo de egresos actualizados. En términos simples, esto corresponde a la siguiente expresión:

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t}, \quad (19.1)$$

donde

- $I_0$  = Inversión inicial
- $Y_t$  = Ingresos del período  $t$
- $E_t$  = Egresos del período  $t$
- $i$  = Tasa de descuento
- $t$  = Período

Esta fórmula deberá desagregarse en función de las variables que se va a sensibilizar. Supóngase, por ejemplo, que se desea determinar las máximas variaciones posibles en los precios de la materia prima y del producto terminado. El primer problema se presenta en la interrelación de los elementos contables con los movimientos reales de caja. Como interesa evaluar el proyecto en función de los flujos de caja, el modelo se transformará, en este caso, en la siguiente ecuación:

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{CMP_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{T_t}{(1+i)^t}, \quad (19.2)$$

donde:

- $CMP_t$  = Pagos efectivos de materia prima en el período  $t$
- $E_t$  = Otros desembolsos netos efectivos del período  $t$ , con inclusión de reinversiones y recuperación de la inversión en el período  $n$
- $T_t$  = Pagos efectivos de impuesto en el período  $t$

El monto del impuesto pagadero en cada período resulta del tratamiento contable de los ingresos devengados, sean o no percibidos, y de los costos de venta y otros también devengados. En consecuencia, su proyección responderá a la siguiente ecuación:

$$T_t = \left[ \hat{Y}_t - \hat{CMP}_t - \hat{C}_t \right] j, \quad (19.3)$$

donde:

- $\hat{Y}_t$  = Ingresos devengados en el período  $t$
- $\hat{CMP}_t$  = Costo de la materia prima asignable a los costos de venta generados
- $\hat{C}_t$  = Otros costos aplicados, incluidas depreciaciones y gastos financieros
- $j$  = Tasa impositiva

Explicando las variables que se debe sensibilizar, el modelo puede resumirse en la siguiente expresión:

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{p^p \cdot q_t^p}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{p^{mp} \cdot q_t^{mp}}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - j \left[ \sum_{t=1}^n \frac{p^p \cdot \hat{q}_t^p}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{p^{mp} \cdot \hat{q}_t^{mp}}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{\hat{C}_t}{(1+i)^t} \right] \quad (19.4)$$

donde:

$p^p$  = Precio del producto del proyecto

$q_t^p$  = Cantidad del producto que fue cancelada efectivamente en cada período  $t$

$p^{mp}$  = Precio de la materia prima

$q_t^{mp}$  = Cantidad de materia prima cuyo pago se efectuó en el período  $t$

$\hat{q}_t^p$  = Cantidad del producto del proyecto vendido en el período  $t$

$\hat{q}_t^{mp}$  = Cantidad de materia prima ocupada en la producción vendida en el período  $t$

Nótese que el precio de la materia prima puede diferir entre el considerado en el flujo efectivo de caja y aquél incluido en el estado contable, entre otras causas por el sistema de contabilización de los inventarios empleados (LIFO, FIFO, etcétera). Sin embargo, en el nivel de estudio de prefactibilidad es posible considerar un precio común tanto efectivo como contable.

Una vez definido el modelo, su aplicación es simple. Basta definir la incógnita o variable que se debe sensibilizar y despejarla de la ecuación, puesto que todos los demás elementos son conocidos.

La sensibilización del precio del producto se efectúa considerando que esta incógnita,  $P^p$ , es una constante a través del tiempo en términos reales. De esta forma, se extrae este factor de las sumatorias respectivas y se actualizan todas las variables determinando el valor mínimo que puede tener el precio para que se cumpla la igualdad. De esta forma, se tiene:

$$I_0 = p^p \sum_{t=1}^n \frac{q_t^p}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{p^{mp} \cdot q_t^{mp}}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - j \left[ p^p \sum_{t=1}^n \frac{\hat{q}_t^p}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{p^{mp} \cdot \hat{q}_t^{mp}}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{\hat{C}_t}{(1+i)^t} \right] \quad (19.5)$$

Despejando la variable que se debe sensibilizar, se llega a la siguiente ecuación:

$$p^p = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{p^{mp} q_t^{mp}}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - j \sum_{t=1}^n \frac{p^{mp} \hat{q}_t^{mp}}{(1+i)^t} - j \sum_{t=1}^n \frac{\hat{C}_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{q_t^p}{(1+i)^t} - j \sum_{t=1}^n \frac{\hat{q}_t}{(1+i)^t}} \quad (19.6)$$

El mismo procedimiento se sigue para sensibilizar el precio de la materia prima o cualquier otra variable. El resultado siempre indicará el punto o valor límite que puede tener el factor sensibilizado para que el VAN sea cero. La única limitación del modelo es que el índice  $t$  deja de ser relevante en la variable analizada, puesto que adoptará siempre un valor constante<sup>2</sup>.

### 19.3 El modelo multidimensional de la sensibilización del VAN

La operatividad de los modelos de sensibilización radica en la mayor o menor complejidad de sus procedimientos. El análisis multidimensional, a diferencia del unidimensional, además de incorporar el efecto combinado de dos o más variables, busca determinar cómo varía el VAN frente a cambios en los valores de esas variables, como una forma de definir el efecto en los resultados de la evaluación de errores en las estimaciones.

El error en la estimación se puede medir por la diferencia entre el valor estimado en la evaluación y otros que pudiera adoptar eventualmente la variable.

El modelo que se presenta a continuación considera flujos de caja constantes, como una forma de simplificar la exposición. Obviamente, con flujos diferenciados la esencia del modelo no varía. Además, se trabajará con valores actuales y no con valores actuales netos, vale decir, excluyendo la inversión inicial, porque ésta pasa a ser irrelevante en la comparación al ser similar para ambas estimaciones, salvo que sea la variable por sensibilizar.

Cuando el flujo es constante, la fórmula de actualización puede expresarse como la suma de una serie a través de la siguiente expresión:

$$VA = F \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i}, \quad (19.7)$$

donde:

VA = Valor actual

F = Flujo de caja dado como serie uniforme

$i$  = Tasa de descuento

$n$  = Períodos de evaluación

<sup>2</sup> Resulta obvio que la sensibilización con este modelo aplicada sobre la TIR es innecesaria, puesto que al buscarse la TIR que iguale a la tasa de descuento se llegará a idénticos valores que al hacer el VAN igual a cero. Por definición, el VAN es cero cuando la TIR es igual a la tasa de descuento. De aquí que pueda afirmarse que el cálculo de la TIR es un análisis de sensibilidad de la tasa de costo del capital.

Para determinar el efecto potencial de los errores en los datos de entrada del modelo del valor actual, se supondrá que la tasa de descuento permanecerá constante. En consecuencia, sólo se trabajará con errores en la estimación de la vida útil, del flujo de caja o de ambos.

Si a los valores estimados  $F$  y  $n$  se les asignan, respectivamente, los valores  $R$  y  $m$  para su sensibilización, donde  $R$  y  $m$  representan los distintos valores con que se sensibilizará el valor actual del proyecto, el error en la estimación se calculará mediante la siguiente expresión:

$$\Delta VA = R \frac{1 - (1 + i)^{-m}}{i} - F \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i} \quad (19.8)$$

Expresando esta diferencia como porcentaje de la estimación original, se tiene:

$$\frac{\Delta VA}{VA} = \frac{R}{F} \left[ \frac{1 - (1 + i)^{-m}}{1 - (1 + i)^{-n}} \right] - 1 \quad (19.9)$$

La aplicación de esta fórmula a diversos valores de  $R$  y de  $m$  permite la elaboración de un cuadro de resultados diferentes.

El análisis multidimensional así planteado puede adaptarse al unidimensional haciendo cero todas las variaciones, con excepción de las correspondientes a la variable por sensibilizar. Por ejemplo, para determinar el momento en que el proyecto que está siendo estudiado deja de ser rentable, sólo se sensibiliza la variable  $n$ , de manera tal de establecer el porcentaje máximo de variación del valor actual para que la inversión siga siendo justificada.

El proyecto será rentable si la diferencia entre el valor actual de las estimaciones es mayor o igual a la inversión inicial. En consecuencia, el valor actual sólo podrá descender hasta el monto de la inversión. Si esta diferencia se expresa como porcentaje de las estimaciones originales, el límite máximo estaría dado por la siguiente expresión:

$$MVA = \frac{VA - I_0}{VA} \quad (19.10)$$

donde  $MVA$  representa el monto mínimo que puede tener el valor actual para que el VAN del proyecto sea cero.

Por ejemplo, si se supone un valor actual estimado en 1 500 y una inversión inicial de 750, se tiene:

$$MVA = \frac{1\,500 - 750}{1\,500}$$

Es decir, el valor actual sólo puede disminuir hasta un 50%.

Por lo tanto, para sensibilizar la variable  $n$  y determinar cuándo deja el proyecto de ser rentable, se aplica la ecuación 19.9 de la siguiente forma, suponiendo una tasa de descuento del 15%.

$$\frac{\Delta VA}{VA} = \frac{F}{F} \left[ \frac{1 - (1.15)^{-m}}{1 - (1.15)^{-n}} \right] - 1.$$

Puesto que  $\frac{\Delta VA}{VA}$  es igual a 0.50,  $\frac{F}{F}$  se anula y n es conocido, el problema

se reduce a determinar m.

Nótese que si se aplica el análisis multidimensional, con R, por ejemplo, habría dos incógnitas. Luego, el procedimiento más correcto sería la elaboración de una tabla de errores combinados que indicará cómo varía el valor actual cuando el flujo de caja y la vida útil del proyecto se calculan en forma errónea.

Los errores combinados, cuando son en dirección opuesta, tenderán a compensarse en el valor actual, dependiendo de los cambios relativos de las variables en el valor asignado y el estimado.

Si, como anteriormente se supuso, se asigna una tasa de descuento del 15% al proyecto, se tiene:

$$\frac{\Delta VA}{VA} = \frac{R}{F} \left[ \frac{1 - (1.15)^{-m}}{1 - (1.15)^{-n}} \right] - 1.$$

Al combinar distintos valores de R y m frente a valores de F y n dados, puede elaborarse una tabla de resultados que muestre la variación porcentual del valor actual para las distintas combinaciones de las variables sensibilizadas. El error en los flujos se presenta normalmente expresado en términos de una proporción entre el valor asignado y el estimado.

El Cuadro 19.1 consiste en una tabla en que aparecen los resultados para varias combinaciones de errores entre los flujos y la vida útil del proyecto. Se ha supuesto un n de 8 períodos y una tasa de descuento del 15%.

**Cuadro 19.1.** Tabla de resultados de combinaciones de errores

m—n	R/F			
	0.80	0.90	1.10	1.20
-3	-40.2	-32.8	-17.8	-10.4
-2	-32.5	-16.6	2.0	11.3
1	-14.9	- 4.3	17.0	27.6
2	-10.5	0.7	23.0	34.2
3	- 6.7	5.0	28.3	40.0



Los resultados de esta tabla son los que se deben comparar con aquel obtenido en la aplicación de la fórmula 19.10. Volviendo al ejemplo en que la variación máxima del valor actual era del 50% para que el proyecto continuara siendo rentable, se aprecia en este cuadro que, aun subestimando en tres periodos la vida útil y en 20% el flujo de caja esperado, no se llega a ese extremo.

Del análisis de la tabla anterior se deduce que el efecto de errores en la vida útil del proyecto no es simétrico ni proporcional. Las sobrestimaciones en la vida útil tienen un mayor efecto sobre el valor actual que las subestimaciones en la misma diferencia. En términos de incremento, el efecto es menos que proporcional ante aumentos en las subestimaciones y más que proporcional en las sobrestimaciones.

Cuando el signo es opuesto en los errores de las estimaciones, el efecto sobre el valor actual dependerá de los errores relativos de cada variable y de la tasa de descuento utilizada.

#### 19.4 El modelo de sensibilidad de la TIR

En los capítulos anteriores se definió la TIR como aquella tasa de descuento que hace igual a cero el VAN del flujo de caja del proyecto.

Si se supone que los flujos de caja son constantes y se considera el VAN igual a cero, se puede plantear la siguiente ecuación:

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F}{(1+r)^t} = 0, \quad (19.11)$$

donde  $r$  es la tasa interna de rendimiento esperada.

Para medir los efectos de los errores en las estimaciones se recurre al mismo procedimiento indicado para el análisis multidimensional del VAN. Es decir, planteando la siguiente ecuación con valores asignados:

$$-J_0 + \sum_{t=1}^m \frac{R}{(1+i)^t} = 0, \quad (19.12)$$

donde:

$J_0$  = Inversión inicial asignada

$i$  = Tasa interna de retorno de los valores asignados

El efecto de los errores en los datos de entrada sobre las tasas de rendimiento puede analizarse dividiendo las ecuaciones 19.11 y 19.12 por su inversión inicial:

$$-1 + \frac{F}{I_0} \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+r)^t} = 0. \quad (19.13)$$

$$-1 + \frac{R}{J_0} \sum_{t=1}^m \frac{1}{(1+i)^t} = 0. \quad (19.14)$$

El modelo de sensibilización de la TIR define los errores en términos porcentuales de la siguiente forma:

$$EF = \frac{\frac{R}{J_0} - \frac{F}{I_0}}{\frac{F}{I_0}}, \quad (19.15)$$

donde EF representa el error porcentual en el coeficiente del flujo de caja:

$$EN = \frac{m - n}{n}, \quad (19.16)$$

siendo EN el error porcentual en la duración del proyecto, y

$$ER = \frac{i - r}{r}, \quad (19.17)$$

donde ER es el error porcentual en la tasa interna de retorno.

Al incorporar los errores en la ecuación 19.13 se tiene:

$$-1 + \frac{F(1+EF)}{I_0} \sum_{t=1}^{n(1+EN)} \frac{1}{[1+r(1+ER)]^t} = 0. \quad (19.18)$$

La sensibilización de la TIR se efectúa calculando los errores EF y EN para distintos valores de las variables, procediendo a determinar el valor de ER que haga a la ecuación igual a cero.

Si se analiza el efecto de una sola variable dejando las demás constantes, se puede apreciar que los errores en la estimación del flujo de caja se encuentran linealmente relacionados con errores en las tasas de rendimiento. En cambio, no sucede así entre los errores en la vida útil y las tasas de rentabilidad.

Si se supone un proyecto con una vida útil estimada en 10 años, con flujos anuales constantes de \$ 1 000 y una inversión inicial de \$ 5 000, mediante la fórmula 19.13 se tiene que:

$$-1 + \frac{1\ 000}{5\ 000} \sum_{t=1}^{10} \frac{1}{(1+r)^t} = 0.$$

De aquí se obtiene que el rendimiento esperado corresponde a una tasa del 15.09%. Si se asigna un flujo de caja igual al estimado, resulta una relación  $F/I_0 = 0.20$  y si a la vida útil estimada en 10 años se asigna un duración de 7 años, se obtiene una sobrestimación de un 30% ( $EN = 0.30$ ). Al aplicar estos datos al modelo de sensibilización, se tiene que:

$$-1 + \frac{1\,000}{5\,000} (1 + 0.00)^{\sum_{t=1}^{10} (1+0.30)} \frac{1}{[1+0.1509(1+ER)]^7} = 0.$$

El resultado de la aplicación del modelo indica una disminución en la tasa de rendimiento del 39% ( $ER = 0.39$ ). Pero, si la situación fuera opuesta y se produjese una subestimación de la vida útil en 3 años ( $m = 13$  y  $EN = 0.30$ ), resultaría un aumento en la tasa de rendimiento de un 16% ( $ER = 0.16$ ).

El modelo aquí propuesto también se puede aplicar para investigar el efecto de errores combinados, es decir, cuando se producen cambios en más de una variable simultáneamente.

En el mismo ejemplo anterior, pero considerando que el flujo anual de caja es subestimado en 10% ( $EF = 0.10$ ) y la vida útil es subestimada en 30% ( $EN = 0.30$ ), se tiene que:

$$-1 + \frac{1\,000}{500} (1 + 0.10)^{\sum_{t=1}^{10} (1+0.30)} \frac{1}{[1+0.1509(1+ER)]^{13}} = 0.$$

En este caso,  $ER$  tiene el valor de 0.32, lo que indica que se ha subestimado en un 32% la tasa interna de retorno del proyecto.

El análisis combinado de los errores en las variables permite la elaboración de una tabla comparativa de sus efectos en la TIR, como la que se indica en el Cuadro 19.2.

Del análisis anterior es posible concluir que la tasa de rendimiento es generalmente más sensible a los errores en el flujo de caja, excepto cuando el proyecto es de corta duración (10 períodos o menos).

Si bien los flujos de caja positivos y negativos de igual valor absoluto inducen a errores positivos y negativos proporcionales en la tasa de rendimiento, no sucede

**Cuadro 19.2.** Tabla de resultados de combinaciones de errores

EN	EF						
	0.50	0.30	0.10	0.0	0.10	0.30	0.50
-0.5	-2.28	-1.71	-1.22	-0.98	-0.78	-0.37	0.00
-0.3	-1.54	-1.00	-0.59	-0.39	0.19	-0.17	0.52
-0.1	-1.13	-0.67	-0.27	0.09	0.08	0.42	0.74
0.0	-0.98	-0.56	-0.17	0.00	0.17	0.50	0.81
0.1	-0.89	-0.47	-0.10	0.07	0.23	0.55	0.85
0.3	-0.73	-0.32	0.00	0.16	0.32	0.62	0.91
0.5	-0.63	-0.26	0.06	0.22	0.37	0.66	0.94

lo mismo con errores en la duración, pues la tasa de rendimiento es más sensible a los errores negativos de duración que a los positivos.

Manteniendo constante la magnitud de los errores de entrada al modelo, a medida que aumenta la tasa esperada de rendimiento, la magnitud de los errores porcentuales inducidos en la tasa de rendimiento decrece. De esta manera, los proyectos que ofrecen tasas de rendimiento esperadas relativamente grandes son menos sensibles a los errores del flujo de caja y de la duración que los proyectos con tasas esperadas relativamente pequeñas. Esto supone que la incertidumbre que rodea a los parámetros de presupuesto de capital en el caso de proyectos marginales puede ser mayor que en el caso de los proyectos que posean tasas de rentabilidad esperada mayor.

### 19.5 El modelo de sensibilidad de la utilidad

Este modelo consiste básicamente en analizar las variaciones en la utilidad ante cambios asignados en los precios y volúmenes de venta previamente estimados. Para ello se recurre al análisis del punto de equilibrio, que se expresa en la siguiente ecuación:

$$R = (p \cdot q) - (cv \cdot q) - CF, \quad (19.19)$$

donde:

- R = Resultado
- p = Precio unitario
- q = Volumen de ventas
- cv = Costo variable unitario
- CF = Costo fijo total

Este modelo permite determinar el comportamiento de la utilidad ante aumentos o disminuciones del precio de venta, con o sin variaciones en la cantidad vendida, o ante precios constantes y variaciones en la cantidad vendida. También permite determinar el monto en que se debería aumentar el precio de venta para mantener constante la utilidad ante una disminución en el volumen de ventas o, viceversa, en cuánto se deberían incrementar las ventas ante bajas en el precio para mantener constante la utilidad.

Resulta claro que esta sensibilización permite analizar el comportamiento esperado de la utilidad ante variaciones en cualquiera de una o más variables de la ecuación de utilidad básica. Así, por ejemplo, será factible determinar qué combinaciones de precio y volumen de ventas permiten alcanzar una determinada utilidad (incluyendo el punto de equilibrio al considerar la utilidad igual a cero).

Supóngase, por ejemplo, que se proyectan ventas para el próximo período de 1.050 kilos de un producto cualquiera, a un precio unitario de \$ 75; que los costos variables por kilo son de \$ 34, y que los costos fijos totales son de \$ 39 100.

El análisis de sensibilidad permite responder, entre otras muchas interrogantes, las siguientes:

a) ¿Cómo afectaría a la utilidad una disminución o aumento de 50, 100 y 150 kilos en las ventas, si el precio se mantiene constante?

El siguiente cuadro presenta el efecto de asignar cambios en la cantidad al modelo de sensibilización de la ecuación 19.20, donde R es la incógnita para valores de p, cv y CF estimados, conocidos y constantes y para valores de q optativos.

**Cuadro 19.3.** Tabla de sensibilización de las utilidades

PRECIO	VOLUMEN DE VENTAS	INGRESOS POR VENTA	COSTO TOTAL	UTILIDAD
75	1 200	90 000	79 900	11 100
75	1 150	86 250	78 200	8 050
75	1 100	82 500	76 500	6 000
*75	1 050	78 750	74 800	3 950
75	1 000	75 000	73 100	1 900
75	950	71 250	71 400	-150
75	900	67 500	69 700	-2 200

b) ¿Cuánto debería variar el precio para mantener constante la utilidad ante una disminución y aumento de 50, 100 y 150 kilogramos en el volumen de ventas?

Modificando la fórmula 19.19 para despejar la variable p, se obtiene la siguiente ecuación:

$$p = \frac{R + (cv \cdot q) + CF}{q} \quad (19.20)$$

Al asignar los cambios en las variables en esta fórmula, se obtiene la variación necesaria en los precios para mantener constante la utilidad. El Cuadro 19.4 resume los resultados determinados:

**Cuadro 19.4.** Tabla de sensibilización del precio

UTILIDAD	VOLUMEN DE VENTAS	COSTO TOTAL	INGRESO POR VENTA	PRECIO
\$ 3 950	1 200	\$ 79 900	\$ 83 850	\$ 69.96
3 950	1 150	78 200	82 150	71.43
3 950	1 100	76 500	80 450	73.14
3 950	1 050	74 800	78 750	75.00
3 950	1 000	73 100	77 050	77.05
3 950	950	71 400	75 350	79.32
3 950	900	69 700	73 750	81.94

En este caso, a partir de la utilidad deseada se ha determinado, a base de modificaciones en los volúmenes de venta, los diferentes precios que permiten cumplir con la restricción.

Ante aumentos y disminuciones de ventas de igual magnitud, no existe la misma proporcionalidad en los precios para mantener la utilidad constante. Por ejemplo, un aumento de 150 kg frente a lo estimado originalmente (1.050 kg) implica una disminución de precios de \$ 5.1 (de \$ 75 a \$ 69.9). En cambio, una disminución de 150 kg implica un aumento de precio de \$ 6.9 (de \$ 75 a \$ 81.9).

c) ¿Cuánto debería variar el volumen de ventas ante una disminución y aumento en el precio de \$ 5, \$ 10 y \$ 15, para mantener constante la utilidad?

Modificando la fórmula 19.20 para despejar la variable  $q$ , se obtiene la siguiente ecuación:

$$q = \frac{R + CF}{p - cv} \quad (19.21)$$

Al aplicar esta fórmula, se obtiene los resultados que se muestran en el Cuadro 19.5.

**Cuadro 19.5.** Tabla de sensibilización de la cantidad

UTILIDAD	PRECIO	VOLUMEN DE VENTAS
3 950	90	769
3 950	85	845
3 950	80	936
3 950	75	1 050
3 950	70	1 196
3 950	65	1 389
3 950	60	1 656

Igual que en el caso anterior, se ha determinado el nivel de ventas necesario para mantener la utilidad en \$ 3 950 ante cambios en el precio de venta.

d) ¿Cómo se afectaría la utilidad ante un aumento y una disminución del 5% en los costos variables?

Tomando como base la fórmula 19.19, se puede elaborar el Cuadro 19.6, que muestra los cambios esperados en la utilidad.

**Cuadro 19.6.** Tabla de sensibilización de la utilidad ante cambios en los costos variables

COSTO VARIABLE	PRECIO	VOLUMEN DE VENTA	COSTO TOTAL	INGRESO TOTAL	UTILIDAD
35.7	75	1 050	76 585	78 750	2 165
34.0	75	1 050	74 800	78 750	3 950
32.3	75	1 050	73 015	78 750	5 735

Una reducción en un 5% del costo variable hace, en este caso, que la utilidad se incremente en un 45.1%. Si el costo variable se incrementara en 5%, la utilidad bajaría en un 45.1%.

Este tipo de análisis de sensibilidad debe emplearse como indicador para posteriores análisis de las variables críticas y antes de plantearlo en términos de VAN y TIR con el propósito de utilizar mejor el tiempo. De todas maneras, los supuestos de flujo cambian en cada uno de estos casos.

## 19.6 Usos y abusos de la sensibilidad

Aunque pueden parecer obvios los usos del análisis de sensibilidad después de revisar las principales técnicas de su aplicación, es necesario insistir sobre determinados aspectos que no han sido explicados aún. Básicamente, la sensibilización se realiza para evidenciar la marginalidad de un proyecto, para indicar su grado de riesgo o para incorporar valores no cuantificados.

Determinar la marginalidad de un proyecto es relevante, puesto que el monto del VAN calculado no representa una medida suficiente para calcular la proporcionalidad de los beneficios y costos del proyecto. El análisis de sensibilidad muestra cuán cerca del margen se encuentra el resultado del proyecto, al permitir conocer si un cambio porcentual muy pequeño en la cantidad o precio de un insumo o del producto hace negativo el VAN calculado. Si así fuese, el proyecto sería claramente marginal.

Teóricamente, no es importante conocer la marginalidad de un proyecto si no existe incertidumbre. Sin embargo, al ser el flujo de caja sobre los que se basa la evaluación el resultado de innumerables estimaciones acerca del futuro, siempre será necesaria su sensibilización.

De aquí se desprende cómo se puede emplear este análisis para ilustrar lo riesgoso que puede ser un proyecto. Si se determina que el valor asignado a una variable es muy incierto, se precisa la sensibilización del proyecto a los valores probables de esa variable. Si el resultado es muy sensible a esos cambios, el proyecto es riesgoso.

El análisis de sensibilidad, en estos términos, es útil para optar por profundizar el estudio de una variable en particular o, a la inversa, para no profundizar más su estudio si, por ejemplo, se determina que el resultado del proyecto es insensible a determinada variable. En este caso, no se justifica ser perfeccionista para calcular exactamente un valor que se sabe es irrelevante. En general, mientras mayor sea un valor y más cercano esté el periodo cero en el tiempo, más sensible es el resultado a toda variación porcentual en la estimación.

Aun incorporando variables cualitativas en la evaluación, es preciso que éstas sean de alguna forma expresadas cuantitativamente. Esto mismo hace que el valor asignado tenga un carácter incierto, por lo que se requiere su sensibilización.

Si bien el análisis de sensibilidad facilita el estudio de los resultados de un proyecto, su abuso puede conllevar serias deficiencias de la evaluación. Hay un abuso del análisis de sensibilidad cuando el evaluador lo usa como excusa para no intentar cuantificar cosas que se podrían haber calculado. Lo mismo sucede cuando el informe presenta solamente un conjunto complicado de interrelaciones entre valores cambiantes, omitiendo proporcionar una orientación. Es preciso que

el evaluador asuma un papel de consejero frente al inversionista, sirviéndose del análisis de sensibilidad como de un complemento para su objetivo de recomendación de la aceptación o rechazo del proyecto.

## 19.7 Resumen

En este capítulo se presentaron los diversos mecanismos por los que se puede efectuar una sensibilización de los resultados de la evaluación frente a cambios en las variables del proyecto. La sensibilización, si bien permite incorporar de alguna manera el factor riesgo, no debe tomarse como un procedimiento para simplificar la cuantificación de las estimaciones del proyecto.

Dependiendo del número de variables que se sensibilicen simultáneamente, el análisis puede clasificarse como unidimensional o multidimensional. En el análisis unidimensional, la sensibilidad se aplica a una sola variable, mientras que en el multidimensional se examinan los efectos incorporando dos o más variables simultáneamente.

El análisis unidimensional consiste en determinar hasta qué punto se puede modificar una variable para que el proyecto siga siendo rentable. El modelo multidimensional determina el resultado frente a cambios de alternativa en las variables. Estos dos modelos se aplican al VAN del proyecto.

Aunque en este capítulo se trató la sensibilidad de las variables de carácter económico, también es posible ampliarlo a todos los estudios de la preparación del proyecto. Por ejemplo, a la localización, tamaño y demanda, entre otros aspectos.

Los principales modelos tratados aquí abarcan la sensibilización del valor actual neto, tasa interna de retorno y utilidad. Sin embargo, el criterio central que se intentó proporcionar hace posible diseñar cualquier modelo específico para situaciones diferentes de las consideradas. La lógica que da fundamento a estos criterios así lo permite.

## PREGUNTAS Y PROBLEMAS

1. El análisis unidimensional de la sensibilización del VAN, si bien da una pauta para la evaluación de los rangos de variación en las variables, no es un adecuado instrumento de medición del riesgo, porque no considera probabilidades de ocurrencia en las variables que condicionan el resultado. Comente.
2. Al aplicar el análisis de sensibilidad unidimensional sobre el VAN o la TIR, se llega necesariamente a idénticos resultados. Comente.
3. Si al sensibilizar el valor actual se obtiene un porcentaje de variación de -99%, el proyecto sigue siendo rentable, pues el resultado, si es positivo, debería variar en -100% para que recién se iguale a cero. Comente.
4. Analice la fórmula que sigue e indique en qué casos es posible su aplicación a la sensibilización.

$$I_0 = \left[ \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{D_t}{(1+i)^t} \right] (1-j) + \sum_{t=1}^n \frac{D_t}{(1+i)^t},$$



donde:

$I_0$  = Inversión inicial

$Y_t$  = Ventas del período  $t$

$E_t$  = Costos de venta y gastos de venta y administrativos, sin incluir depreciación ni gastos financieros, en el período  $t$

$D_t$  = Depreciación y gastos financieros del período  $t$

$j$  = Tasa impositiva

5. La sensibilización de la utilidad no tiene una aplicación práctica efectiva, ya que no considera el efecto del valor tiempo del dinero ni los flujos de caja efectivos generados por el proyecto. Comente.
6. Determine el precio máximo que se podría pagar por la materia prima para que el proyecto siga siendo rentable, si se dispone de los siguientes antecedentes:

$$\sum_{t=1}^{10} \frac{p^p \cdot q_t^p}{(1+i)^t} = 1\,200\,000,$$

$$\sum_{t=1}^{10} \frac{p^{mp} \cdot q_t^{mp}}{(1+i)^t} = 2\,400 p^{mp},$$

$$\sum_{t=1}^{10} \frac{E_t}{(1+i)^t} = 465\,000,$$

$$\sum_{t=1}^{10} \frac{p^p \cdot \hat{q}_t^p}{(1+i)^t} = 1\,200\,000,$$

$$\sum_{t=1}^{10} \frac{p^{mp} \cdot \hat{q}_t^{mp}}{(1+i)^t} = 2\,300 p^{mp},$$

$$\sum_{t=1}^{10} \frac{\hat{C}_t}{(1+i)^t} = 440\,000,$$

$$I_0 = 60\,000,$$

$$j = 35\%.$$

7. En referencia a la pregunta anterior, ¿cómo explica la diferencia entre

$$\sum_{t=1}^{10} \frac{p^{mp} \cdot q_t^{mp}}{(1+i)^t} \quad \text{y} \quad \sum_{t=1}^{10} \frac{p^{mp} \cdot \hat{q}_t^{mp}}{(1+i)^t} ?$$

## CASO: COMPAÑIA EL TRONCO

El Sr. José Rapallo, ingeniero forestal, de 40 años de edad, poseía una finca maderera, con 3.500 hectáreas plantadas con distintas variedades coníferas, con dominio de la especie de pino *radiata*.

Rapallo descendía de una familia que siempre había estado vinculada al sector forestal. Su padre, Nicanor Rapallo, había sido el dueño y fundador de la Compañía Exportadora de Maderas (CEM), empresa que realizaba la totalidad de sus exportaciones de madera en bruto, ya que no contaban con la tecnología necesaria para elaborarla.

Esta última situación provocó que dicha compañía perdiera parte importante del mercado, dado que los principales compradores, las naciones del Oriente medio, demandaban productos con mayor grado de elaboración.

En el año en curso, por la muerte de don Nicanor, su hijo José asumió la presidencia de CEM, encontrándose con la desagradable sorpresa de que, debido a la falta de tecnología y al tipo de cambio fijo que había regido la economía del país durante 3 años, la compañía se encontraba en una delicada situación financiera, lo cual imposibilitaba destinar recursos propios para un proyecto que José Rapallo tenía pensado implementar para aprovechar la capacidad productiva de su finca. Tal proyecto consistía en la construcción de un aserradero que produjera madera aserrada para el mercado interno y madera elaborada para los mercados interno y externo, la que sería de mucho mejor calidad.

El último estudio que había realizado Rapallo le indicaba que las posibilidades de producción más ciertas eran:

- a) 30% producción de madera aserrada para el país;
- b) 20% producción de madera elaborada para el país;
- c) 50% producción de madera elaborada para exportarla.

La capacidad máxima de extracción (bosques útiles) era de 2 millones de pulgadas métricas para toda la vida del proyecto. Anteriormente se habían estado realizando reiteradas visitas a aserraderos de la zona, con el objeto de determinar los costos de producción de la pulgada métrica y su interrelación con otras variables, lográndose determinar que los costos de producción (anexo No. 1) tenían una directa relación con los precios de venta, los que se incrementaban en un 10% anual, en promedio.

Convencido ya de la factibilidad del proyecto, Rapallo decidió ir a visitar a su buen amigo Ramón Alcatena, gerente de la Corporación Nacional para el Fomento Forestal.

Ambos amigos, después de almorzar juntos, se sentaron a intercambiar opiniones acerca de la posibilidad de financiar el proyecto.

"Es realmente interesante tu proyecto, José", planteó el Sr. Alcatena. "Creo que considerando los precios existentes en el mercado (anexo No. 2), el proyecto tendría que ser rentable".

"A mí no me cabe duda, Ramón", dijo José. "El problema es que, dada la situación financiera de CEM, es imposible financiar el proyecto con recursos propios. Tienes que considerar que son necesarios \$ 1 392 000 para echar a andar el proyecto. Lógicamente, tú comprenderás que ningún banco va a estar dispuesto a financiar dicho monto, dadas las pocas garantías que puede ofrecer CEM. Por eso he venido a verte, ya que sé que la corporación que tú diriges tiene fondos disponibles para financiar proyectos como el mío".

"Es cierto, José, pero estos fondos también requieren de respaldos. No es que yo dude de tu persona; tú bien sabes que tu padre y el mío eran como hermanos, al igual que nosotros. Pero yo tengo que responder frente a la Corporación por los recursos que asigno".

"De acuerdo, Ramón, pero tú puedes aceptar mi finca como garantía".

"Sí, en efecto, José, ese es un punto a tu favor; pero aún así, las condiciones de plazo, la tasa de interés y los períodos de gracia tienen que estar acordes con las normas que rigen a esta corporación para asignar dichos recursos".

"En definitiva, ¿qué debo hacer entonces, Ramón?"

"Mira José, preséntame tu proyecto, y haz un análisis de sensibilidad con tasas de interés, períodos de gracia y plazos".

"Pero, ¿tú me dirás dentro de qué rangos me tengo que mover, Ramón?"

"Lógicamente. Observa este cuadro y llévate una copia".

El cuadro era el siguiente:

<b>ALTERNATIVAS</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Tasa de interés	12%	10%	11.5
Período de gracia	2 años	3 años	1 año
Plazo	10 años	11 años	6 años

"Lo que tienes que llegar a determinar es tu producción mínima anual para cumplir con las condiciones de plazo, amortizaciones e intereses para cada una de las alternativas, y así poder determinar cuál es el financiamiento óptimo para tu proyecto".

"Realmente te agradezco tu interés, Ramón. Mañana te presentaré esta información".

#### **Anexo 1**

##### Costos de producción

Costo de madera aserrada, venta en el país: 30% del precio de venta

Costo de madera elaborada, venta en el país: 30% del precio de venta

Costo de madera elaborada, para exportar: 50% del precio de venta

*Fuente:* Asociación Nacional de Aserraderos del Sur.

#### **Anexo 2**

##### Precio de venta

Pulgada aserrada, país: \$0.83

Pulgada elaborada, país: \$1.29

pulgada elaborada, exportación: \$1.96

*Fuente:* Precios promedios extraídos del último estudio de la Corporación Nacional para el Fomento Forestal.

#### **BIBLIOGRAFIA**

HOUSE, W.C. "The Usefulness of Sensitivity Analysis in Capital Investment Decisions", *Management Accounting* 47 (6), 1966.

HUEFNER, Roland. "Analyzing and Reporting Sensitivity Data", *The Accounting Review*, octubre 1971.

JOY, M. y BRADLEY, T. "A note on Sensitivity Analysis of Rates of Return", *The Journal of Finance* 28 (5), 1973.

MANES, Rene. "A New Dimension to Breakeven Analysis", *The Journal of Accounting Research* 4 (1), 1966.

MITCHEL, G.B. "Breakeven Analysis and Capital Budgeting", *The Journal of Accounting Research* 7 (2), 1969.

SAPAG, Nassir. "Un modelo alternativo de sensibilización de proyectos", *Proyección* (Perú), marzo 1983.

- . *Modelos de sensibilización para el análisis de inversión*. Santiago: Universidad de Chile. Depto. de Administración, 1980.
- SOLOMON, Martín. "Incertidumbre y su efecto sobre el análisis de la inversión de capital". En WESTON, J. y WOODS, D., eds., *Teoría de la financiación de la empresa*. Barcelona: Gili, 1970.
- WHISLER, William. "Sensitivity Analysis of Rates of Return", *The Journal of Finance* 31 (1), 1976.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**ANALISIS DE RIESGO EN PROYECTOS  
DE PERFORACION EXPLORATORIA**

**LIC. ROBERTO CORTEGOSO**

**PALACIO DE MINERIA**

**1995**

Palacio de Minería    Calle de Tacuba 5    Primer piso    Deleg. Cuauhtémoc 06000    México D.F.    APDO. Postal M-2285  
Teléfonos. 512-8955    512-5121    521-7335    521-1987    Fax 510-0573    521-4020 AL 26

TECNICAS DE SIMULACION

METODO DE MONTECARLO

ANALISIS DE RIESGO EN PROYECTOS DE

PERFORACION EXPLORATORIA

Preparado por J. Rodriguez

MENDOZA

Octubre 1981

## TECNICAS DE SIMULACION

Como muchas variables indeterminadas juegan un papel importante en la rentabilidad de las inversiones en proyectos de exploración de hidrocarburos, las técnicas de simulación y en especial el método de Montecarlo proveen al inversionista con una manera de evaluar y analizar proyectos de perforación explotaria.

Debido a que las condiciones del subsuelo y las propiedades de la roca potencialmente almacenadora de hidrocarburos no pueden ser conocidas antes de perforar, a que los precios de hidrocarburos fluctúan, y a que otros factores económicos son inciertos, la rentabilidad de un proyecto exploratorio es también altamente incierta.

Simulación puede ser definida como el uso de un modelo matemático que tiene en cuenta aquellos aspectos de la realidad que son relevantes al problema de toma de decisión que está siendo estudiado. Varias alternativas son evaluadas con el modelo hasta que se obtiene la decisión final. No es necesario que el modelo simule exactamente la realidad, pero debe dar resultados iguales a los que la realidad daría para el problema en consideración. La idea de simulación es construir un modelo conceptual del problema real que está siendo estudiado. También, simulación se puede definir como una técnica cuantitativa usada para evaluar cursos alternos de acción, o para obtener la respuesta más probable, por medio de un modelo matemático, cuando el resultado esperado es una función de varias variables inciertas que pueden estar combinadas, en la realidad, de una manera casual.

Modelo es la representación de un objeto o una situación real. El modelo muestra las relaciones o interrelaciones entre las variables usadas en su construcción. El modelo es una abstracción de la realidad.

Cuando se construye un modelo, aquellas variables que son relevantes al problema deben estar incluidas. Variables ajenas al problema pueden ser incluidas, pero el modelo final las descartará. El análisis de las interrelaciones existentes entre las variables mostrará cuáles de ellas son relevantes al problema objeto de estudio.

El método Montecarlo de simulación es una técnica que fue desarrollada para simular datos basándose en la distribución probabilística de las variables inciertas relevantes al modelo objeto de estudio.

Las variables inciertas, que afectan el resultado del modelo, son definidas por medio de su distribución probabilística. Un valor de cada variable es seleccionado al azar por medio de cualquier procedimiento casual (una tabla de números casuales, tirando un dado, etc.). Estos valores así seleccionados se incluyen en el modelo para obtener un posible resultado de la variable dependiente que está analizándose. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario hasta que la distribución probabilística final de la variable dependiente es obtenida.

Simulación tiene la ventaja, sobre otros métodos que evalúan el riesgo, que no solamente da el valor más probable de la variable dependiente, sino también su distribución probabilística. Por lo tanto, todos los resultados posibles del modelo pueden ser analizados por el inversionista. Simulación es un método más apropiado para analizar el problema en un momento dado. Hay que recordar que el "Valor Esperado", empleado en otros métodos de análisis de riesgo de las inversiones, es el valor más probable que tendrá la variable dependiente pero a largo plazo y en ensayos repetitivos. Simulación, por el contrario, da una idea de la probabilidad que la variable dependiente esté dentro de determinado rango o por encima de un valor predeterminado, el cual puede ser el costo de la inversión.

Ejemplo: dos proyectos de inversión pueden tener un Valor Esperado igual de ingreso bruto, pero el rango total de los resultados posibles para los dos proyectos puede ser como se muestra en la Fig. 1.

Si X representa el ingreso bruto mínimo requerido para reponer el capital invertido, es obvio que el proyecto A es el más favorable; no importa que ambos proyectos tengan el mismo Valor Esperado. Las probabilidades de obtener una ganancia son mayores en A que en B.

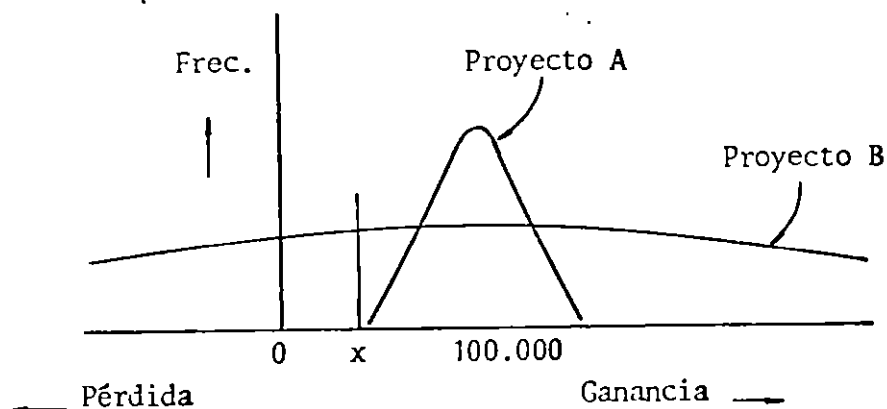


Fig. 1 - Distribuciones de los proyectos A y B



El ejemplo anterior muestra claramente la ventaja de las técnicas de simulación sobre otras técnicas para evaluar el riesgo. La distribución probabilística de la variable dependiente es más importante, en un momento dado, que el Valor Esperado de esta variable, el cual se cumple, pero a largo plazo y sobre ensayos repetitivos semejantes.

Una de las posibles desventajas de simulación es su alto costo, cuando se compara con otros métodos evaluatorios del riesgo. Ya que cientos, y en algunos casos miles de cómputos se requieren antes de poder obtener la distribución probabilística final de la variable dependiente, el uso de un computador es, se puede decir, obligatorio. Pero, cuando las técnicas simulatorias se aplican a problemas de exploración petrolífera, donde las inversiones son grandes y el riesgo alto, un análisis de simulación va a ser indudablemente un costo muy bajo dentro del presupuesto para exploración, y las posibles ganancias, en una mejor toma de decisiones, ampliamente justifican su uso.

### Evaluación de Inversiones. Pasos Generales de Simulación

Los pasos a seguir en la elaboración de un modelo Montecarlo para analizar un problema pueden ser generalizados de la siguiente manera:

1. Identificar la variable dependiente. Para problemas de ingreso puede ser cualquier medida económica de valor.
2. Identificación de las variables independientes que pueden afectar el resultado (valor) de la variable dependiente. En este caso es mejor pecar por exceso y no por omisión.
3. Definición de las interrelaciones que existen entre todas las variables. Si, por ejemplo, el valor neto presente del ingreso ha sido escogido como variable dependiente, entonces la fórmula para calcular éste describirá las interrelaciones que ocurren entre las variables.
4. Especificar cuáles de las variables independientes son conocidas y cuáles son inciertas, o sea aquéllas que podrán asumir uno de muchos valores posibles. Estas variables inciertas se llaman variables probabilísticas o variables casuales.

5. Definir el rango y la distribución probabilística de los valores que cada una de las variables casuales puede asumir dentro del problema objeto de estudio.
6. Resolver el modelo. Un valor de cada una de las variables casuales es seleccionado al azar de sus distribuciones probabilísticas y usando estos valores se calcula un valor de la variable dependiente por medio de la ecuación del modelo.

Este valor representa una de las muchas maneras posibles en que las variables independientes pueden estar combinadas en la realidad, o sea uno de los posibles estados de la naturaleza.

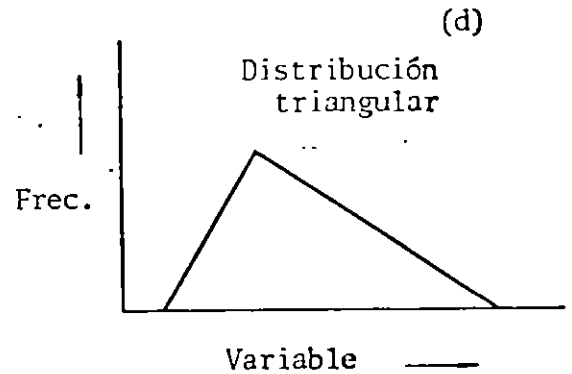
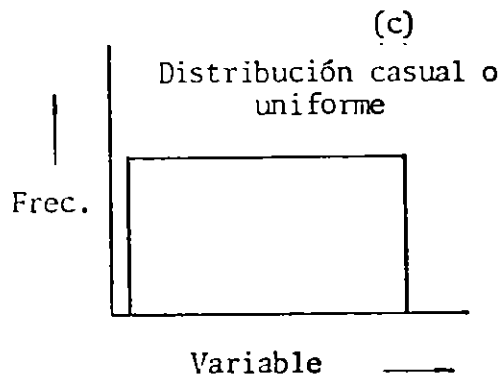
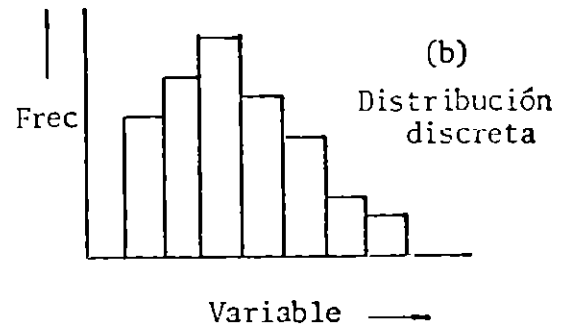
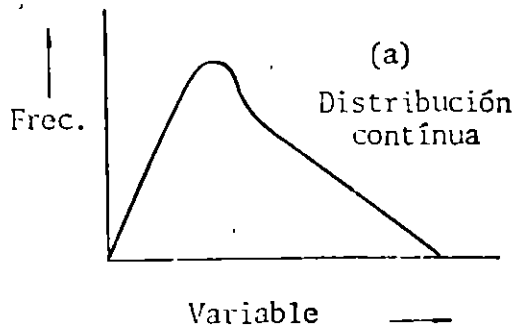
El proceso se repite muchas veces seleccionando cada vez al azar un valor de las variables casuales. Por medio de este proceso, el rango y distribución probabilísticas de la variable dependiente son hallados. El número de cómputos requeridos para obtener aproximadamente el rango de distribución final de la variable dependiente dependerá de la exactitud requerida para la solución. En el caso de evaluación de inversiones exploratorias en la industria petrolera esta exactitud se obtiene, generalmente, con menos de 1000 cómputos. Debido al alto número de cálculos que hay que realizar, la solución de un problema empleando técnicas de simulación se hace usualmente por medio de un computador, aunque a veces es posible resolver problemas sencillos con una calculadora de escritorio.

7. Una vez que la distribución final de la variable dependiente se obtiene, se pueden asignar probabilidades a los valores posibles que puede asumir esta variable y usarlos en cálculos de Valor Esperado. Los resultados de un estudio de simulación proveen al inversionista con una manera de evaluar cuantitativamente todos los posibles resultados consecuentes de una decisión dada.

### Distribuciones

Las funciones de distribución empleadas para describir el rango de posibilidad de ocurrencia de las variables independientes, pueden expresarse en forma discreta o continua. No se necesita describirla matemáticamente, y no es necesario que sean de una forma específica tal como normal o lognormal. Las figuras 2a y 2 b muestran tipos de distribución continua y discontinua.

Otros tipos de distribuciones usados frecuentemente en la simulación exploratoria son el casual o uniforme (Fig. 2c) y el triangular (Fig. 2d). Una distribución uniforme se usa para describir variables casuales cuando todos los valores posibles tienen la misma probabilidad de ocurrir. La distribución triangular describe aquellas variables casuales para las cuales únicamente se conocen los valores mínimos, máximo y más probable dentro del rango de ocurrencia.



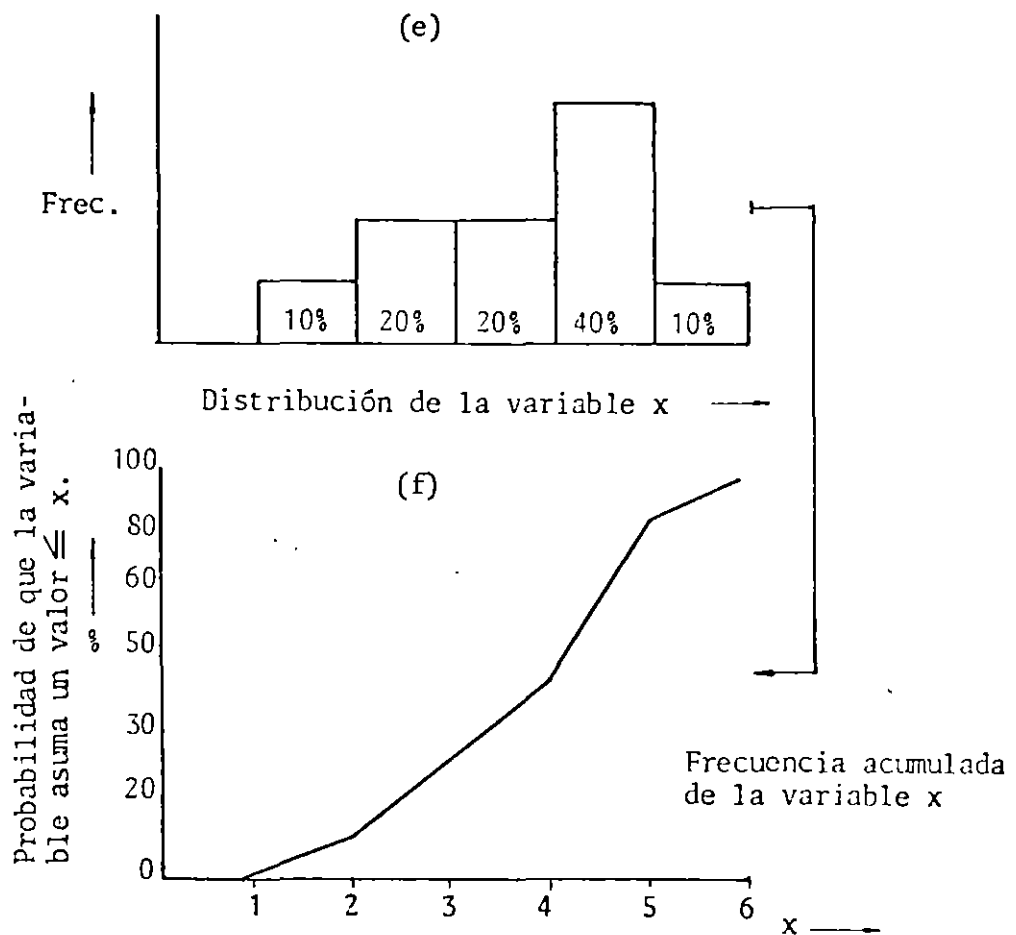


Fig. 2 - Distribuciones

### Selección de las Variables Dependientes e Independientes

Como ya se mencionó anteriormente, los tres primeros pasos requeridos en la construcción de un modelo de simulación son la selección de las variables dependientes e independientes y el establecimiento de las relaciones que las une. Estos tres pasos en realidad son comunes en cualquier evaluación económica.

La variable dependiente usada en la evaluación de inversiones en proyectos de perforación debe ser alguna medida económica de valor. Las más apropiadas para ser usadas en un modelo de simulación son el valor presente neto del ingreso y la tasa de retorno.

Las variables independientes serán aquellas variables que afectan el valor posible de la variable dependiente. La ecuación que describe el ingreso neto descontado puede ser:

$$\text{DNP} = \left[ R \times P \times (1 - T_x) \times (1 - R_y) - C \right] \times D - I$$

Donde:

- DNP = Ingreso neto descontado.
- R = Reservas de hidrocarburos recuperables.
- P = Precio unitario.
- T<sub>x</sub> = Impuestos, %.
- R<sub>y</sub> = Regalías, %.
- C = Costos de operación.
- D = Factor de descuento compuesto.
- I = Inversión.

Esta ecuación general se puede aplicar ya sea a proyectos exploratorios o a proyectos de desarrollo.

Cabe destacar que las reservas recuperables, que son una variable casual, son a su vez función de otras variables casuales tales como: espesor neto productor, porosidad, saturación de hidrocarburos, etc. Para proyectos exploratorios todas estas variables son inciertas y el explorador debe definir las por medio de distribuciones probabilísticas. En proyectos de desarrollo algunas de ellas pueden ser conocidas con mayor certeza (porosidad y saturación de hidrocarburos) debido a datos obtenidos en pozos adyacentes, aunque de todas maneras, pueden existir variaciones en el rango de valores que aquéllas pueden asumir. Si el rango de variación de estas dos variables es pequeño, se pueden convertir a variables ciertas y expresarse en función de otra variable tal como barriles por acre-pie. Por lo tanto, el número de variables casuales puede variar de acuerdo al tipo de proyecto de perforación.

## Cómputos de Simulación

Como ya se mencionó previamente, cada pase simulatório requiere que el valor de cada una de las variables independientes casuales sea seleccionado al azar. Si los cómputos van a hacerse manualmente, las funciones de frecuencia distributiva (funciones probabilísticas) se convierten en gráficas de funciones probabilísticas acumulativas como se muestra en las Figs. 2e y 2f. Después de esto, un número de dos dígitos se selecciona de una tabla de números casuales; este número se asocia a la ordenada de la gráfica y se lee el valor correspondiente de la variable independiente en la abcisa. Cuidado! Un número casual debe ser seleccionado cada vez que un valor es muestreado de las distribuciones. Esto asegura no sólomente la selección casual de la muestra sino también la combinación casual de las variables independientes. Si hay 5 variables casuales (5 distribuciones) y se van a hacer 100 pases de simulación, se deben usar 500 números casuales.

Si los cómputos se van a hacer por medio de un computador, los gráficos de distribución acumulativa se convierten en arreglos vectoriales. Un valor de la variable independiente, en la abcisa, se obtiene de cada porcentaje en la ordenada empezando con 1% y terminando con 100%. Los 100 valores así determinados para cada variable independiente, se leen al principio del programa como datos "dimensionados", el subíndice (subscript) correspondirá al porcentaje particular al que el valor de la variable independiente esté asociado. Un número casual se genera luego por medio de una subrutina y se asocia al subíndice del arreglo vectorial correspondiente llamando un valor de la variable independiente de los datos previamente almacenados en la memoria del computador. Este procedimiento de muestreo se repite para cada una de las variables independientes, y a continuación se calcula un valor de la variable dependiente. El proceso se repite hasta que la frecuencia de distribución final de la variable dependiente sea hallada. El número de pases necesarios para obtener la distribución final aumentará, como regla general, con el aumento de las variable casuales independientes.

Un diagrama de flujo del proceso de simulación para un proyecto exploratorio se muestra en la Fig. 3. Las variables casuales independientes asociadas a este caso específico son:

- |                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| 1. Costo de perforación     | - Distribución triangular |
| 2. Precio del crudo         | - Distribución casual     |
| 3. Espesor neto             | - Histograma - Discreta   |
| 4. Porosidad y Sat. de agua | - Distribución log normal |
| 5. Factor de recobro        | - Discreta                |

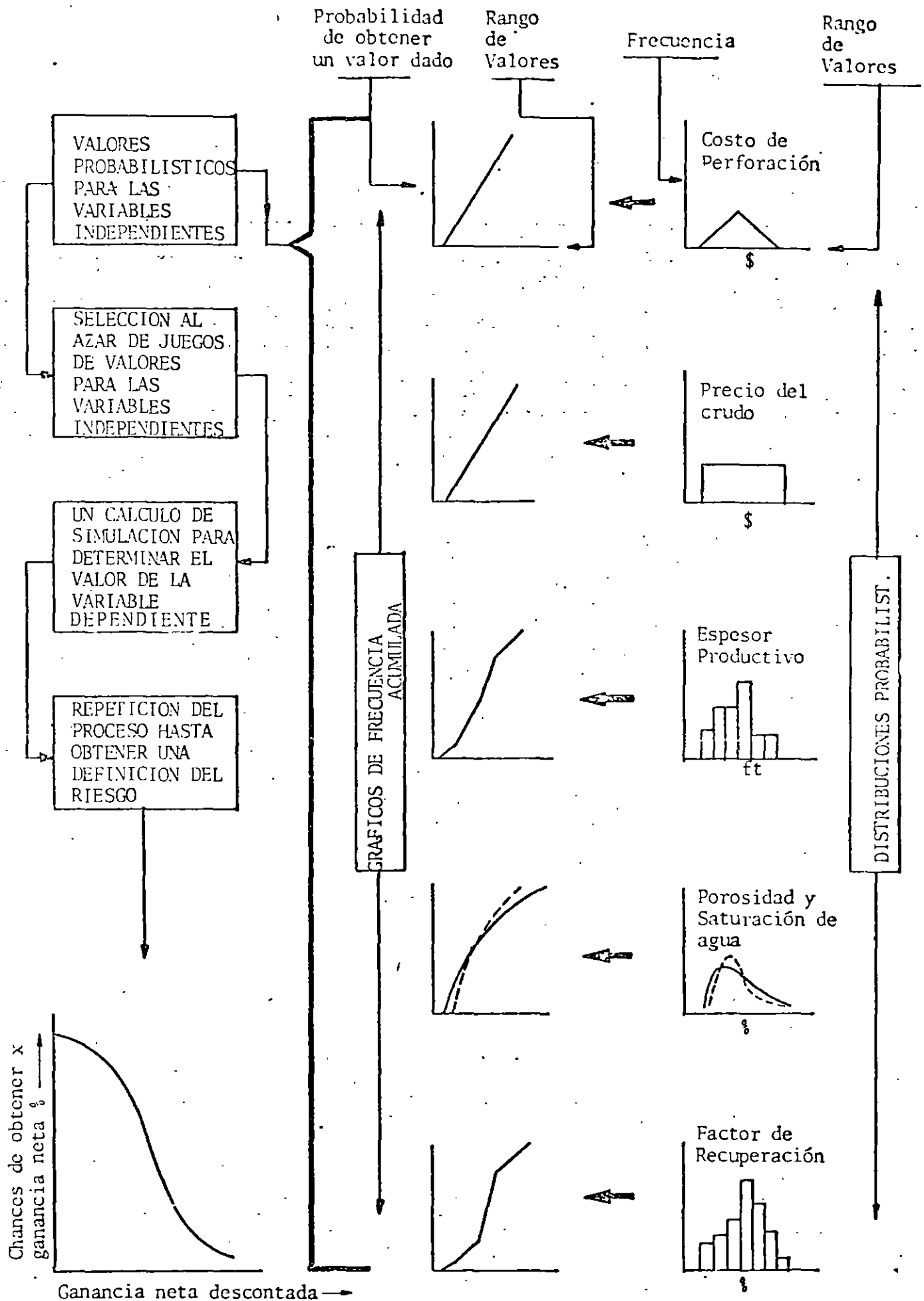


Fig.3: Diagrama de flujo. Proyecto de perforación.

## Conclusiones

Simulación ofrece al inversionista un panorama de los posibles resultados de la alternativa de decisión.

Todas las combinaciones posibles de los estados de la naturaleza se incluyen en el problema, proveyendo un método de análisis del riesgo muy riguroso.

Por consiguiente, el inversionista no necesita incluir factores adicionales de seguridad para cubrir lo incierto y el riesgo. Simulación, así mismo, provee, una manera conveniente para analizar sensibilidades, es decir, la variación de la variable dependiente con variaciones de las variables independientes.

Simulación es un método muy general, el cual puede ser usado para evaluar cualquier situación que involucre valores probabilísticos casuales. El número de variables independientes que pueden ser consideradas es prácticamente ilimitado. Finalmente, los rangos de posibilidad de ocurrencia y la distribución para cada variable independiente pueden ser hechos por expertos. No es necesario que una sola persona haga los estimados de riesgo para todo el proyecto.



## BIBLIOGRAFIA

1. CARNAHAN B, LUTHER H.A., AND WILKS J.O., "Applied Numerical Methods", John Wiley & Sons, New York.
2. MEGILL R.E., "An Introduction to Exploration Economics", The Petroleum Publishing Company, Tulsa, Oklahoma.
3. NEWENDORP P.D. AND CAMPBELL J. M., "Decision Methods for Petroleum Investments", J. M. Campbell and Company, Norman, Oklahoma.
4. THIERAUF R.J. , AND GROSSE R.A., "Decision Making Through Operations Research", John Wiley & Sons, New York.

El Análisis de Riesgo en las  
Decisiones de Inversión

por Szabolcs Szekeres\*

DOCUMENTO N° 150  
ADEGA - BANCO MUNDIAL

1. Introducción

El principal propósito de un estudio de factibilidad es proveer información que permita llegar a una decisión sobre si vale la pena o no llevar a la práctica al proyecto estudiado. La mayoría de los estudios de factibilidad tratan este problema de la siguiente manera: determinan cuáles son los parámetros de importancia para el proyecto, estiman el valor de cada uno de ellos y en base a estos estimados, calculan el valor esperado de la rentabilidad del proyecto. Es decir, realizan el cálculo de rentabilidad como si todos los parámetros del proyecto se conocieran con absoluta certeza.

Si supiéramos a ciencia cierta (adivinando el futuro) cuál es el valor exacto de cada uno de los parámetros que definen la rentabilidad del proyecto, este procedimiento sería enteramente adecuado. Lamentablemente, en la vida real, no conocemos a ciencia cierta el valor exacto de todos los parámetros que afectan a la rentabilidad del proyecto. Si hiciéramos un único cálculo, empleando los valores esperados de cada parámetro, obtendríamos un resultado del cual podríamos decir con certeza casi absoluta que está errado, ya que la probabilidad de que todos los parámetros simultáneamente alcancen su valor esperado es prácticamente nula. El valor de la información que un único cálculo nos pudiera

\* Director,  
Information for Investment Decisions  
1731 P St., N.W., Washington, D.C. 20036  
(202) 244-2181

Prohibida la reproducción de este material sin el permiso del autor.

- 2 -

proveer depende, en la práctica, del margen de error que le atribuyéramos a este resultado.

Si creemos que el margen de error es relativamente pequeño y que aun en los casos extremos (el peor o el mejor de los casos) el resultado apunta a la misma decisión, este único cálculo sería suficiente. Sin embargo, si creemos que el margen de error es grande, ese único cálculo podría ser totalmente inútil, ya que los casos extremos podrían indicar la conveniencia de tomar decisiones opuestas, y no tendríamos ninguna indicación de cuál es la preferible. Esta es la razón por la cual a veces quedan dudas sobre un proyecto aun después de que se haya completado un estudio de factibilidad. El contenido de información de estudios que no especifiquen el margen de error de sus conclusiones es muy bajo, por caro y complejo que haya sido el estudio.

La magnitud exacta del margen de error de cualquier cálculo un tanto complicado no es intuitivamente obvia. Depende no sólo de los márgenes de error de los datos utilizados en el cálculo, sino también de cómo el cálculo relaciona entre sí a estos datos. En la medida en que los datos describan eventos futuros inciertos, pero correlacionados entre sí, el margen de error también será una función de ese grado de correlación. Además, realmente necesitamos algo más que un mero margen de error en el sentido de obtener el valor mínimo y máximo posible. Esto se debe a que los valores intermedios posibles pueden no darse con igual probabilidad. De hecho, lo más común es que haya cierta concentración de la probabilidad alrededor del resultado más probable. Si esta concentración es lo suficientemente fuerte, los valores máximo y mínimo posibles pueden ser

de poco significado práctico para la toma de decisiones. Para que nuestro estudio pueda realmente informar decisiones reales, lo que debemos calcular es la distribución de probabilidad asociada con nuestras predicciones. En la sección siguiente describimos el método utilizado para calcular esa distribución. La sección 3 explica el significado de tales distribuciones y la forma en que la información que proveen puede ser utilizada para tomar decisiones de inversión.

## 2. Simulación Monte Carlo

La simulación Monte Carlo es una forma muy sencilla de obtener la distribución de probabilidad de un resultado a partir de las distribuciones de probabilidad de los datos utilizados. La distribución de probabilidad del resultado se puede aproximar como el límite de una distribución de frecuencias. Es decir, si calculáramos el resultado un número de veces adecuado, utilizando para cada cálculo valores que provengan de las distribuciones de los datos, obtendríamos resultados diferentes cuya distribución de frecuencia se asemejaría tanto más a la distribución de probabilidad exacta del resultado, cuantas más veces repitamos el proceso. Este es precisamente el proceso que se denomina método de simulación Monte Carlo. Para cada uno de los datos, un programa de computadora genera un valor aleatorio (pero tomado de la distribución de probabilidad especificada y teniendo en cuenta las correlaciones especificadas). En base a un juego completo de estos valores, se efectúa un cálculo del resultado. Este proceso se repite un número elevado de veces (100 o más, en general) y luego se construye una distribución de frecuencia de los

resultados obtenidos. Esta distribución constituye una buena aproximación a la distribución de probabilidad del resultado.

Este método de simulación se puede interpretar, de hecho, como una especie de ensayo de laboratorio de eventos futuros. Dado que la computadora escoge valores de las distribuciones que describen a los datos del problema, cada una de las combinaciones es un posible estado futuro de las cosas. Cada una de estas combinaciones es plausible, verosímil e igualmente probable. Por lo tanto, los resultados obtenidos también son desenlaces plausibles, verosímiles e igualmente probables. En la realidad, naturalmente, se dará uno solo de estos eventos, aunque aún no sabemos cuál. Pero tenemos un elemento muy importante de control: si muchos de los desenlaces igualmente probables son indeseables, podemos evitar el riesgo de que ocurran decidiendo no hacer la inversión que los origina. Alternativamente, si un número suficiente de los desenlaces es favorable, podemos decidir correr el riesgo de que nos toque, al azar, uno de ellos. En la sección siguiente describimos cómo usar los resultados de la simulación Monte Carlo para decidir las acciones a tomar con respecto a un proyecto analizado con este método.

### 3. Interpretación de los Resultados

#### a) Introducción

El resultado que es de interés especial en un proyecto y que constituye esencialmente el parámetro de decisión, es el valor actualizado neto de la inversión. Aunque es posible aplicar análisis de riesgo a

otros indicadores económicos o financieros (tasa interna de retorno, relación beneficio-costos, etc.), veremos que el uso del valor actualizado neto conlleva ventajas especiales. Por lo tanto, como resultado de la simulación Monte Carlo, obtendremos una distribución de probabilidad del valor actualizado neto. En esta sección analizaremos en primer lugar la forma en que podemos caracterizar a esa distribución y llegar a decisiones sobre la inversión. En segundo lugar, concluiremos describiendo las recomendaciones que se puedan extraer de la información disponible.

b) Reglas de Decisión

Supongamos que la distribución de probabilidad del valor actualizado neto de la inversión sea la ilustrada en la figura 2a. Podemos caracterizarla anotando cinco parámetros diferentes: (1) el valor mínimo; (2) el valor máximo; (3) la moda, o valor más probable; (4) la mediana o valor que divide a la distribución en dos regiones de igual probabilidad y (5) la media o esperanza matemática de la distribución (cuando la distribución es simétrica, los tres últimos coinciden). Cuál o cuáles de estos parámetros deben utilizarse para decidir si la inversión es rentable?

La respuesta a esta pregunta está íntimamente relacionada con la actitud frente al riesgo del que debe tomar la decisión. En caso de que la actitud frente al riesgo sea una de neutralidad o indiferencia, el parámetro decisivo debe ser la media, o valor esperado de la distribución. La persona que decide de esta forma maximiza la esperanza matemática de sus ganancias, pero a costa de correr riesgos. Es posible que haya solamente

FIG 2a

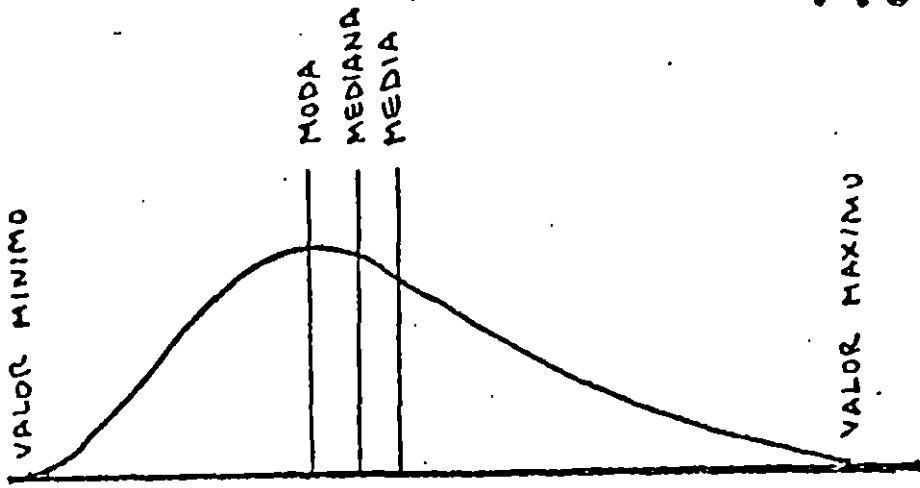
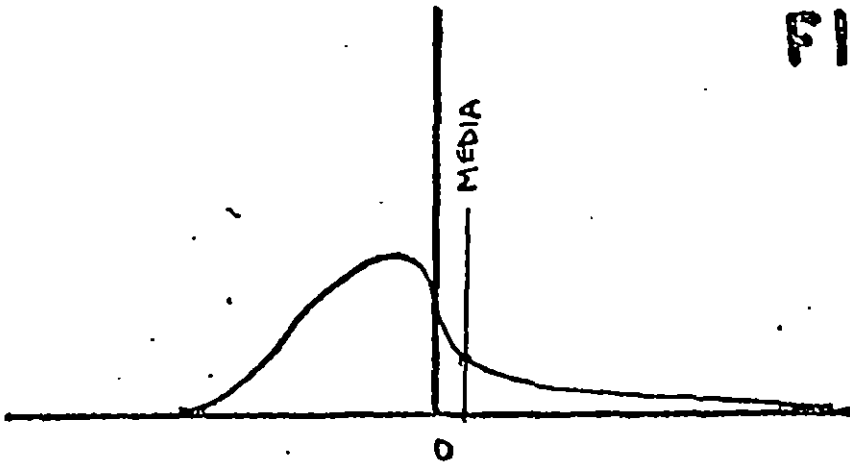


FIG 2b



un pequeño porcentaje de valores positivos en la distribución, como lo ilustra la Figura 2b. En muchos de tales casos esta persona sufrirá pérdidas; sin embargo, las pocas veces que gane tendrá grandes ganancias, que lo compensarían con creces por las pérdidas sufridas. En caso de 2. que la persona no sea indiferente al riesgo, ninguno de los parámetros de la distribución es suficiente en sí para llegar a una decisión. En tal caso, la persona que tome la decisión deberá sopesar toda la distribución, tomando en cuenta las probabilidades de ganancias y pérdidas y sus montos respectivos. <sup>1/)</sup>

c) El Costo de la Incertidumbre

Generalmente la distribución de probabilidad del valor actualizado neto refleja que hay incertidumbre sobre el proyecto. Si no hubiera ninguna, o sea si el futuro fuera conocible de antemano, la distribución consistiría de un solo valor con probabilidad de uno. Pero el valor actualizado neto de la inversión en el proyecto típico no es predecible con toda certeza debido a que (i) influyen sobre él factores que son en sí aleatorios y no pueden predecirse con exactitud (por ejemplo el volumen futuro de ventas) y (ii) debido a que desconocemos, por falta de estudios adecuados, el valor exacto de algunos de los parámetros del proyecto (por ejemplo, el volumen del movimiento de tierra necesario para contruir la infraestructura). La distribución del valor actualizado neto nos permite calcular el costo de esta incertidumbre, siempre que nuestra regla de decisión en cuanto a la aceptación o rechazo de proyectos

1/ A menos que la aversión al riesgo del que toma la decisión sea cuantificable en una función de utilidad, en cuyo caso sí es posible formular una regla de decisión explícita.



sea de aceptar aquéllos para los cuales el valor actualizado neto sea positivo con total certeza y que seamos neutrales al riesgo.

Supongamos que la Figura 3a representa la distribución del valor actualizado neto de un proyecto. No contiene ningún valor negativo; por lo tanto, dado que nuestra regla de decisión es aceptar proyectos con valores actualizados netos positivos asegurados, tenemos toda la información necesaria para llegar a una decisión final y el costo de la incertidumbre es cero. (No es que no haya incertidumbre; pero como no nos afecta, dada nuestra regla de decisión, su costo es cero).

Supongamos que la distribución del valor actualizado neto sea la dada en la Figura 3b. En tal caso sí hay una pequeña probabilidad de que el proyecto resulte en pérdidas (parte rayada). El valor esperado de los valores negativos es la medida del riesgo al que nos expondríamos al aceptar el proyecto. Este valor es el costo de la incertidumbre. Para constatar que es así, pensemos en cuál sería la suma de dinero máxima que valdría la pena pagar para completamente eliminar la incertidumbre. Sólo tiene sentido comprar información mientras esa transacción aumente el valor esperado de nuestras ganancias. La eliminación de la incertidumbre no puede valer más, por lo tanto, que el valor esperado de las pérdidas que arriesgamos por no contar con la información que nos permitiría evitarlas. O sea, el costo de la incertidumbre en este caso es el valor esperado de los valores actualizados netos negativos.

Consideremos ahora el caso de la Figura 3c. La media de la distribución es negativa y por lo tanto deberíamos rechazar al proyecto. Pero la distribución revela que hay una pequeña chance de que el proyecto sea

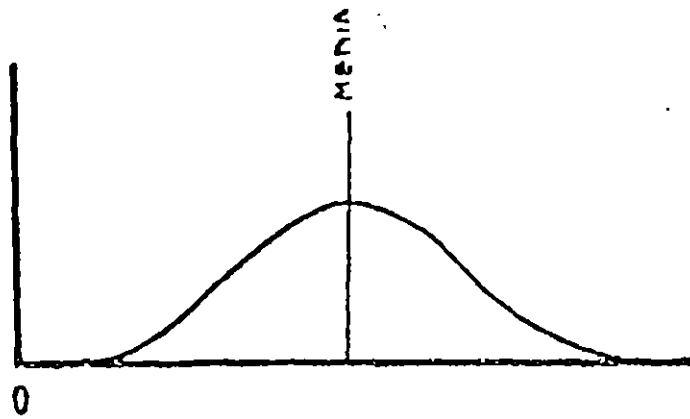


FIG 3 a

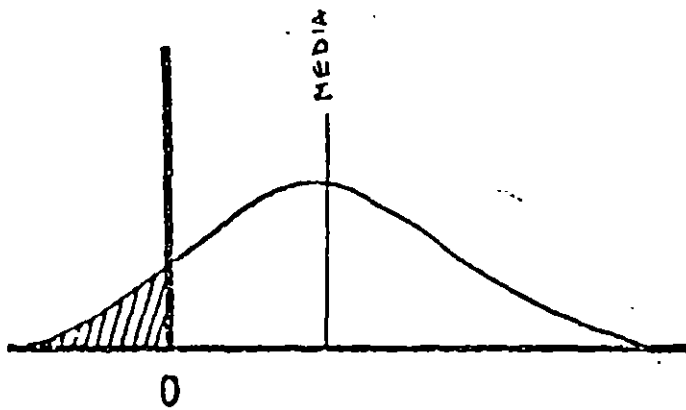


FIG 3 b

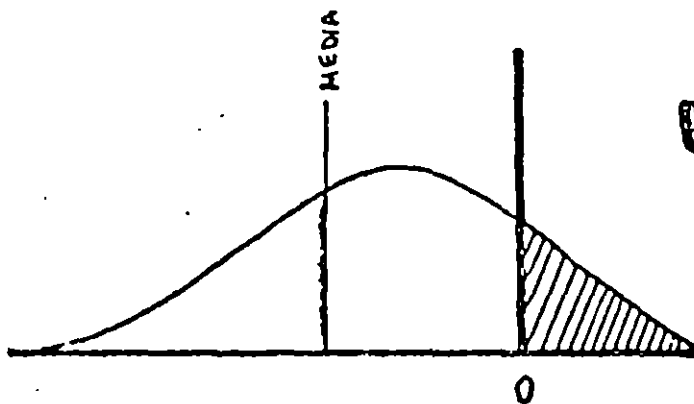


FIG 3 c

factible (zona rayada). Al rechazar el proyecto perdemos esa chance. El valor esperado de las posibles ganancias está dado por el valor esperado de los valores positivos. Si a un costo menor que este valor pudiéramos adquirir información perfecta sobre el valor actualizado neto del proyecto, el valor esperado de nuestras ganancias aumentaría. O sea, por un razonamiento análogo al anterior, el costo de la incertidumbre está dado por el valor esperado de los valores actualizados netos positivos. La regla general es que el costo de la incertidumbre está dado por el valor esperado de los valores actualizados netos con signo opuesto al de la media de toda la distribución.

El costo de la incertidumbre es una función de nuestra regla de decisión y de la información disponible. En el análisis de riesgo es posible calcular la contribución de cada uno de los datos de un proyecto al costo de la incertidumbre total. Sabiendo el costo de incertidumbre atribuible a cada dato y el costo de los estudios adicionales que pudieran aclarar más ese dato, es posible diseñar estudios subsiguientes que sean eficientes, en el sentido de que sólo se adquiera información cuyo costo sea menor que la disminución correspondiente en el costo de la incertidumbre.

#### d) Conclusión

Después del análisis de un proyecto hay tres posibles cursos de acción: aceptarlo, rechazarlo o adquirir información adicional. Las técnicas explicadas hasta aquí nos permiten calcular cuál de los tres cursos de acción es el más conveniente, siempre que nuestra regla de decisión sea la de aceptar proyectos con valores actualizados netos aseguradamente positivos y seamos indiferentes al riesgo.

Primero debemos determinar si es conveniente o no adquirir información adicional. Cualquier estudio que emprendamos podrá reducir la incertidumbre, pero es poco probable que la elimine totalmente. Por lo tanto, el costo de la incertidumbre es lo máximo que se podría pagar por cualquier estudio. Si el costo de la incertidumbre es alto, debemos proseguir a estimar en cuánto podría reducirse la incertidumbre mediante un estudio. Para eso debemos definir en cuánto reduciría el estudio la dispersión de cada uno de los datos de nuestro proyecto. Con esa información podemos predecir lo que sería el costo de la incertidumbre después del estudio. Si la diferencia entre los costos de incertidumbre antes y después del estudio es mayor que el costo del estudio, vale la pena llevarlo a cabo. En caso de que el costo de la incertidumbre se viera reducido en menos que el costo del estudio, entonces ya no vale la pena seguir analizando al proyecto. (Hay que tener en cuenta que la postergación de proyectos aparentemente factibles puede resultar en una pérdida de beneficio que también forma parte del costo de realizar un estudio).

Si la conclusión es que no vale la pena seguir analizando al proyecto, deberemos llegar a una decisión final acerca del proyecto, aceptándolo si su valor actualizado neto esperado es positivo y rechazándolo si es negativo.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**DECISIONES DE TAMAÑO Y  
DECISIONES DE LOCALIZACION**

**LIC. ROBERTO CORTEGOSO  
PALACIO DE MINERIA  
1995**

Al definir el tamaño como una función de la capacidad, se hace necesario diferenciar las capacidades teórica, máxima y normal. La capacidad teórica es aquel volumen de producción que, con técnicas óptimas, permite operar al mínimo costo unitario. La capacidad máxima es el volumen máximo de producción que se puede lograr sometiendo los equipos a su pleno uso, independientemente de los costos de producción que genere. La capacidad normal es aquella que, en las condiciones que se estima regirán durante la ejecución del proyecto ya implementado, permitan operar a un mínimo costo unitario. En la definición del tamaño del proyecto deberá utilizarse el concepto de capacidad normal, aun cuando para algún equipo en particular se defina una capacidad máxima.

Al adecuarse la producción principalmente a la demanda y a la disponibilidad de insumos, la capacidad normal generalmente no corresponderá a la capacidad instalada máxima.

Por otra parte, al definir el tamaño también como una función del tiempo, es preciso considerar que la estacionalidad en el suministro de algunas materias condiciona el uso de la capacidad instalada. En estos casos, cuando sólo se puede operar a plena capacidad en algunos períodos del año, no existe una sobrestimación del tamaño, ya que la capacidad de la planta se determina para aquellos períodos de operación máxima.

De igual forma, debe considerarse la operación en su conjunto para definir los tamaños específicos de cada centro de producción, e incluso en nivel de cada máquina en particular. Esto, por la posible existencia de "cuellos de botella" que hagan necesarios segundos y terceros turnos de trabajo en sólo algunas unidades de producción.

## 9.2 Variables determinantes del tamaño

Generalmente se define la dimensión del mercado como la más importante variable determinante del tamaño del proyecto. Sin embargo, no es posible tomar una decisión fundándose exclusivamente en este factor. Complementariamente, debe evaluarse la tecnología del proceso productivo, la disponibilidad de insumos, la localización y el financiamiento del proyecto, entre otros factores, puesto que condicionan interrelacionadamente su tamaño.

El mercado tiene una influencia tan grande como compleja para definir el tamaño del proyecto. Según las Naciones Unidas, es posible distinguir tres situaciones básicas del tamaño respecto al mercado: aquella en que la demanda total sea claramente menor que la menor de las unidades productoras posibles de instalar; aquella en que la demanda sea igual a la capacidad mínima que se puede instalar, y aquella en que la demanda sea superior a la mayor de las unidades productoras posibles de instalar.<sup>1</sup>

Para medir esto se define la función demanda con la cual se enfrenta el proyecto en estudio y se analizan sus proyecciones futuras. El objeto de esto es

---

<sup>1</sup> NACIONES UNIDAS. *Manual de proyectos de desarrollo económico* (publicación 5.58.11.G.5). México, 1958, p. 36.

que el tamaño no debe responder a una situación coyuntural de corto plazo, sino que debe optimizarse frente al dinamismo de la demanda. Esto podría, por ejemplo, hacer recomendable definir un tamaño superior al necesario para cubrir la demanda actual, pero adecuado a las expectativas de su crecimiento.

Lo anterior tiene que evaluarse considerando los costos unitarios que imponen las economías de escala. Obviamente, éstas disminuirán a medida que se utilice un mayor porcentaje de la capacidad instalada.

Si bien el volumen de materia prima consumida varía casi proporcionalmente con la producción, los requerimientos de mano de obra y bienes de capital aumentan menos que proporcionalmente respecto al producto. Lo mismo ocurre con los gastos de distribución y ventas, que varían en relación menos que proporcional frente a cambios en la producción.

El análisis del costo de operación debe medirse en función de la capacidad instalada y la capacidad de uso. Mientras más se utiliza la capacidad instalada, menor es el costo de fabricación unitario, ya que los gastos fijos se prorratan entre un mayor número de productos. Sin embargo, no siempre las economías de escala se obtienen con tamaños mayores. Puede suceder que sobre cierto tamaño empiecen a producirse deseconomías de escala, por las nuevas inversiones de capital, entre otras, que se requerirían.

Las principales causas que motivan economías de escala son las posibilidades de obtener mejores precios por la compra al por mayor de materia prima, por la distribución entre más productos de los gastos fijos de administración, comercialización y supervisión; por la especialización del trabajo; por la integración de procesos; por el movimiento continuo de materiales, etcétera.

El análisis de la demanda proyectada tiene tanto interés como la distribución geográfica del mercado. Muchas veces esta variable conducirá a seleccionar distintos tamaños, dependiendo de la decisión respecto a definir una o varias fábricas de tamaño igual o diferente situadas en distintos lugares y con número de turnos que pudieran variar entre ellos. Por ejemplo, las economías de escala harán recomendable una planta de mayor tamaño que cubra una mayor extensión geográfica. Sin embargo, esto hará subir los costos de distribución, con un efecto contrario a las economías de escala.

Otra variable que condiciona el tamaño del proyecto es el proceso tecnológico. Muchas veces éste impone una escala de producción mínima que, en algunos casos, podría ser superior a la capacidad de uso planeada y que, por lo tanto, eleva los costos de operación a niveles que pueden hacer recomendable el abandono de la idea del proyecto. Este mismo problema se presenta si se considera que los insumos pueden no estar disponibles en la cantidad deseada, limitando la capacidad de uso del proyecto a la disponibilidad de cualquier insumo, elevando también los costos y produciendo los mismos efectos señalados. En este caso es preciso analizar, además de los niveles de recursos existentes en el momento del estudio, aquéllos que se esperan a futuro. Entre otros aspectos, será necesario analizar las reservas de recursos renovables y no renovables, la existencia de insumos sustitutos y problemas de orden político.

La identificación de las variables pertinentes se hace principalmente necesaria, ya que no todos los factores tienen el mismo grado de influencia en la determinación del tamaño. Junto con su identificación deben definirse y analizarse las interrelaciones existentes entre ellos.

Los factores definidos como pertinentes deben estudiarse con el objeto de determinar las restricciones que limitan tanto el tamaño mínimo del proyecto como el máximo. En algunos casos pueden existir restricciones al tamaño que lo hagan no factible en relación con otras variables. Por ejemplo, el proceso productivo puede implicar un tamaño mínimo que la capacidad financiera del inversionista no puede financiar.

En algunos casos la tecnología utilizada permite la ampliación de la capacidad productiva en tramos fijos. En otras ocasiones, la tecnología del proceso impide el crecimiento paulatino de la capacidad, por lo que puede ser recomendable invertir inicialmente en una capacidad instalada superior a la requerida en una primera etapa, si se prevé que en el futuro el comportamiento del mercado, la disponibilidad de insumos u otra variable hará posible una utilización rentable de esa mayor capacidad. El análisis de los rangos de variación del tamaño permitirá determinar los límites dentro de los cuales se fijará el tamaño del proyecto.

### 9.3 La optimización del tamaño<sup>2</sup>

La determinación del tamaño debe basarse en dos consideraciones que confieren un carácter cambiante a la optimidad del proyecto: la relación precio-volumen, por el efecto de la elasticidad de la demanda, y la relación costo-volumen, por las economías y deseconomías de escala que pueden lograrse en el proceso productivo. La evaluación que se realice de estas variables tiene por objeto determinar los costos y beneficios de las diferentes alternativas posibles de implementar.

Mediante un análisis de sensibilidad, se analiza el efecto de variaciones en una alternativa de tamaño dada, expandiéndolo o reduciéndolo, para que a través de aproximaciones sucesivas pueda definirse aquélla a la que corresponda un mayor valor actual neto.

El criterio que se emplea en este cálculo es el mismo que se sigue para evaluar el proyecto global y que se define en el capítulo 17. La única diferencia en el procedimiento es que al evaluar el valor actual neto para determinar el tamaño se permiten aproximaciones en las cifras, que al evaluar el proyecto deben desagregarse lo suficiente para permitir su análisis individual.

La complejidad de este procedimiento, no tanto por dificultad como por magnitud, hace recomendable el análisis mediante flujos adecuados. En este caso, es posible definir una tasa interna de retorno marginal del tamaño, que correspondería a la tasa de descuento que hace nulo al flujo de las diferencias entre los ingresos y egresos de los tamaños de alternativa.

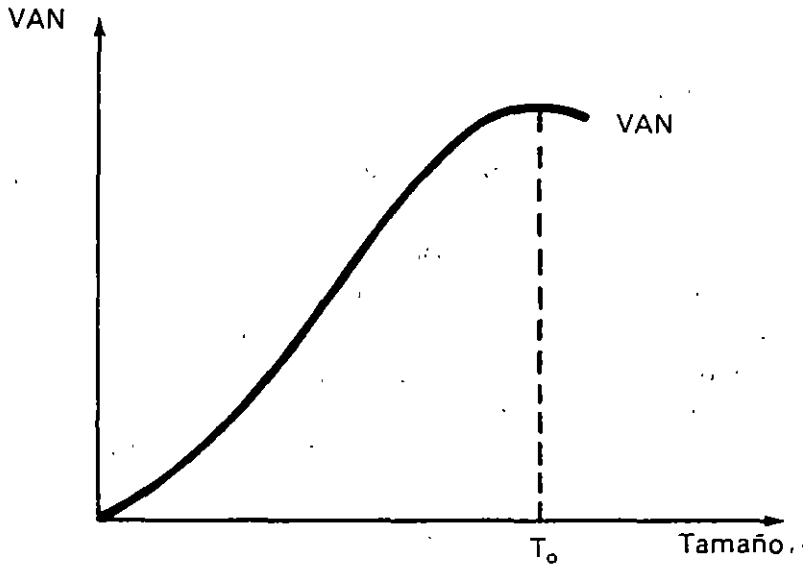
Mientras la tasa marginal sea superior a la tasa de corte definida para el proyecto, convendrá aumentar el tamaño. El nivel óptimo estará dado por el punto en el cual ambas tasas se igualan. Esta condición se cumple cuando el tamaño del proyecto se incrementa hasta que el beneficio marginal del último aumento sea igual a su costo marginal, medidos ambos en moneda de un mismo periodo. En otras palabras, cuando se maximiza su valor actual neto.

---

<sup>2</sup> El estudio de esta sección requiere del análisis previo de los capítulos 16 y 17.



Gráfico 9.1. Relación entre el VAN y el tamaño del proyecto



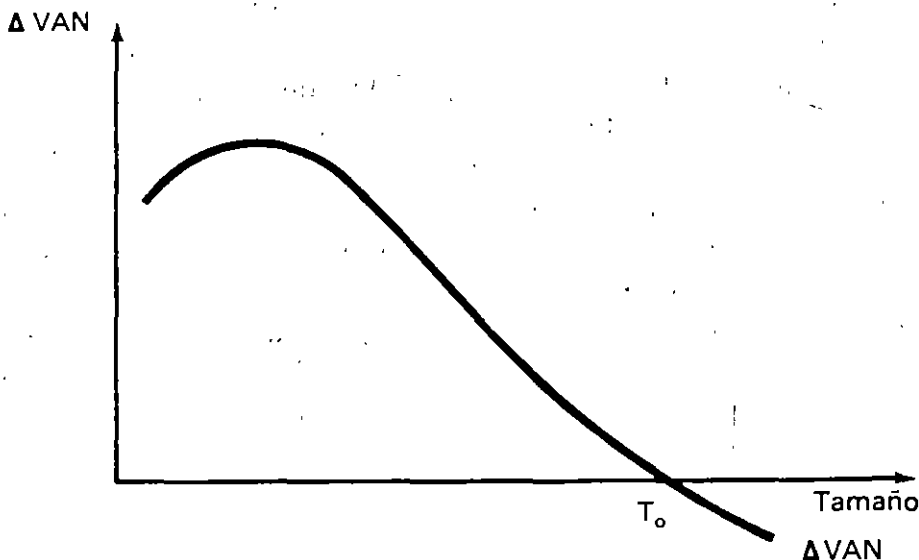
La función VAN del proyecto para distintos tamaños puede adoptar una forma como la del Gráfico 9.1.

El tamaño óptimo  $T_0$  corresponde al mayor valor actual neto de las alternativas analizadas, es decir, cuando la diferencia entre ingresos y egresos actualizados se maximiza. Si se determina la función de la curva, este punto se obtiene cuando la primera derivada es igual a cero y la segunda es menor que cero, para asegurar que el punto sea un máximo.

El mismo resultado se obtiene si se analiza el incremento de VAN que se logra con aumentos de tamaño. En este caso, la curva adopta la forma del Gráfico 9.2.

El punto  $T_0$  indica que el incremento del tamaño no incrementa al VAN en ese punto. Es decir, el costo marginal se iguala al ingreso marginal.

Gráfico 9.2. Relación entre el VAN incremental y el tamaño del proyecto



Matemáticamente, el tamaño óptimo se puede calcular derivando esta función. Si se expresa el VAN en función del tamaño, se podría definir la siguiente igualdad:

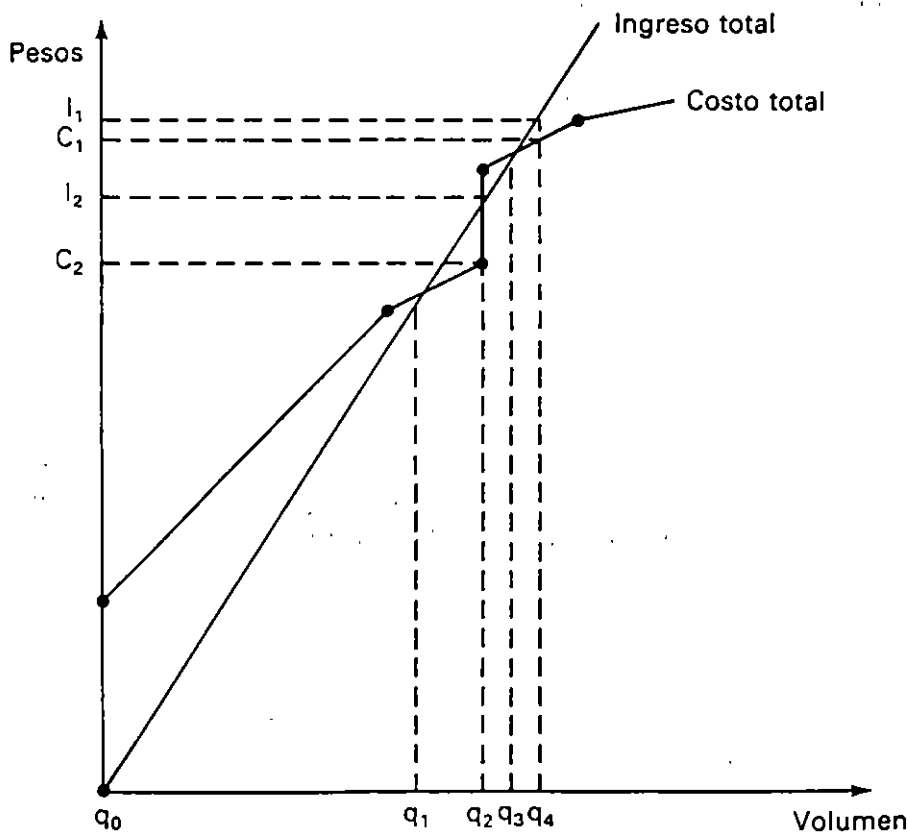
$$VAN(T) = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t(T)}{(1+i)^t} - I_o(T). \tag{9.1}$$

Luego, para calcular el punto que hace igual a cero al VAN marginal, se deriva la función de la siguiente forma:

$$\frac{dVAN(T)}{dT} = \sum_{t=1}^n \frac{dBN_t(T)}{(1+i)^t} - \frac{dI_o(T)}{dT} = 0. \tag{9.2}$$

La mayor demanda de un producto que tiene un margen de contribución positivo, no siempre hace que la utilidad se incremente. De acuerdo con lo señalado en el capítulo 7, la estructura de costos se mantiene constante dentro de ciertos límites. Sobre cierto nivel de producción, es posible que ciertos costos bajen, por economías de escala, mientras otros suben. También es posible que para poder vender más de cierto volumen, los precios deben reducirse, con lo cual el ingreso marginal se incrementa a tasas decrecientes. Suponiendo que no hay cambios en los ingresos, es posible retomar el análisis del capítulo 7, incorporando el efecto ingreso en la función de costo del Gráfico 7.6. Esto se muestra en el Gráfico 9.3., donde se aprecia que el ingreso supera los costos totales en dos tramos diferentes. Si el tamaño está entre  $q_0$  y  $q_1$ , o entre  $q_2$  y  $q_3$ , los ingresos no alcanzan a cubrir los costos, con lo que se tendrían pérdidas. Si el tamaño estuviese entre  $q_1$  y  $q_2$  o sobre  $q_3$ , se tendrían utilidades.

Gráfico 9.3. Puntos de equilibrio



El Gráfico 9.3. permite explicar un problema frecuente en las evaluaciones. En muchos casos se mide la viabilidad de un proyecto para un tamaño que satisfaga la demanda esperada, determinándose su rentabilidad y, por ende, recomendándose la inversión. Sin embargo, a veces es posible encontrar tamaños inferiores que satisfagan menos demanda pero que maximicen el retorno para el inversionista. En el Gráfico 9.3., la demanda esperada podría recomendar un tamaño  $q_4$  que permite la obtención de utilidades, pero en forma menos atractiva que la utilidad que podría obtenerse para un tamaño  $q_2$ , que además podría involucrar menores inversiones y menor riesgo, al quedar supeditado el resultado a una menor cobertura del mercado.

#### 9.4 El modelo de la máxima utilidad

En la Parte V de este texto se demostrará que los análisis de resultados basados en informaciones contables carecen de validez para tomar una decisión. Sin embargo, como se planteó en la sección anterior, la decisión de tamaño puede realizarse sobre la base de aproximaciones confiables. Una de estas aproximaciones es el método de la máxima utilidad contable.

El modelo de la máxima utilidad propone un procedimiento de bastante mayor simplicidad que el indicado en la sección anterior, al fundamentarse en una estimación de las ventas y costos asociados a distintas alternativas de tamaño, donde se opta por el que maximiza la utilidad. Se diferencia del anterior, entre otras características, en que trabaja con flujos devengados y no reales, no considera la inversión inicial (sólo su equivalente en depreciación) y supone que no existen ni reinversiones ni un valor residual del proyecto.

El peligro de este método reside en considerar la utilidad como una medida de rentabilidad. Las Naciones Unidas<sup>1</sup> plantean que la alternativa de mayor utilidad será la misma que tenga la mayor rentabilidad sólo si los costos totales de producción son proporcionales al capital. Si esto fuese así, siguiendo su mismo raciocinio, se tendría:

$$\frac{V}{C} = \frac{C + U}{C}, \quad (9.3)$$

que es lo mismo que:

$$\frac{V}{C} = 1 + \frac{U}{C}, \quad (9.4)$$

donde por  $V$  se denomina a las ventas, por  $C$  al costo y por  $U$  a la utilidad.

Si además se denomina  $K$  al capital y  $r$  a una constante de proporcionalidad en cuya virtud  $C = rK$ , la ecuación 9.4 se traduciría en:

<sup>1</sup> NACIONES UNIDAS, *Manual de Proyectos...*, p. 116.

$$\frac{V}{C} = 1 + \frac{U}{rK} \quad (9.5)$$

que es lo mismo que:

$$\frac{V}{C} = 1 + a \frac{U}{K} \quad (9.6)$$

siendo  $a$  igual a la inversa de  $r$ .

Sólo en este caso  $\frac{U}{K}$  y  $1 + a \frac{U}{K}$  alcanzarán el máximo simultáneamente, por ser una constante.

Sin embargo, la proporcionalidad entre los costos totales y el capital no existe para diferentes tamaños. La duplicación del tamaño, por ejemplo, no necesariamente requerirá de una duplicación del capital ni de cada uno de los insumos. Al variar su composición,  $a$  deja de ser constante y por lo tanto la rentabilidad máxima puede lograrse en un tamaño diferente al de la utilidad máxima.

Un modelo alternativo es el que se propuso en el capítulo 7, donde se analizaron algunas modificaciones al modelo de costo-volumen-utilidad, incorporando al modelo tradicional algunas variables que determinan que el criterio de evaluación basado en el valor actual neto tenga más utilidad como elemento de decisión.

Para ello es posible retomar la ecuación 7.14 y medir el resultado esperado para diferentes tamaños alternativos de operación. Despejando en esa ecuación el tamaño  $x$ , se calcula el nivel mínimo de operación que hace atractiva la implementación del proyecto para una alternativa tecnológica y estructura de costos determinada. Esto es:

$$x = \frac{(F + \text{Dep} + iD)(1 - t) - rA + I_i}{(p - v - i jpd)(1 - t) - rjpa} \quad (9.7)$$

### 9.5 Economía del tamaño

En la sección anterior se señaló que no existe una proporcionalidad entre los costos totales y el tamaño del proyecto. Lo mismo sucede con las inversiones iniciales. Al no tener un carácter de linealidad, su duplicación no doblará el tamaño.

Para relacionar las inversiones inherentes a un tamaño dado con las que corresponderían a un tamaño mayor, se define la siguiente ecuación:

$$I_t = I_o \left[ \frac{T_t}{T_o} \right]^\alpha \quad (9.8)$$

donde

- $I_t$  = Inversión necesaria para un tamaño  $T_t$  de planta
- $I_o$  = Inversión necesaria para un tamaño  $T_o$  de planta

$T_o$  = Tamaño de planta utilizado como base de referencia

$\alpha$  = Exponente del factor escala

El exponente del factor de escala es, obviamente, el antecedente más difícil de calcular. Sin embargo, las Naciones Unidas<sup>4</sup> publicaron una lista de factores calculados para las industrias químicas, petroquímicas y automovilísticas. Por ejemplo, los factores de escala calculados para la industria química y petroquímica fueron, por producto, los siguientes:

PRODUCTOS	$\alpha$
Acido sulfúrico (procedimiento de contacto)	0,73
Azufre (a partir de $SH_2$ )	0,64
Acido nítrico	0,93
Oxígeno	0,65
Estireno	0,65
GR-S (caucho sintético)	0,63
Etileno	0,86
Reformación catalítica	0,62
Refinación de petróleo	0,67

Si, por ejemplo, se ha determinado que la inversión necesaria para implementar un proyecto para la producción de azufre a partir de  $SH_2$  y con una capacidad de 30 000 toneladas anuales es de \$18 000 000, para definir la inversión requerida para producir 60 000 toneladas anuales se reemplazan estos valores en la ecuación 9.8 utilizando el  $\alpha$  correspondiente. De esta forma, se tiene que:

$$I_t = 18\,000\,000 \cdot \left[ \frac{60\,000}{30\,000} \right]^{0.64}$$

de donde resulta que la inversión asociada a este tamaño de planta sería \$28 049 925.

## 9.6 El tamaño de un proyecto con demanda creciente

Al analizar las variables determinantes del tamaño del proyecto, se planteó la necesidad de considerar el comportamiento futuro de la demanda como una forma de optimizar la decisión, no tanto en respuesta a una realidad coyuntural como a una situación dinámica en el tiempo.

Si se han estimado con cierta certeza la vida útil de los equipos por utilizar y el crecimiento de la demanda, el tamaño óptimo del proyecto será aquél que permita mantener al mínimo los costos totales durante la vida útil estimada.

Al proyectar la demanda esperada, se puede disponer de un cuadro anual de demandas normalmente crecientes. Al aplicar la ecuación 9.9, se calcula el número de períodos (años) en que se desarrolla el mercado desde que se inicia la producción de la empresa creada por el proyecto. La demanda que se observa en el período en que el mercado llega a su desarrollo óptimo, corresponde al tamaño óptimo.

<sup>4</sup> NACIONES UNIDAS, *Industrialización y productividad*. Boletín N° 20, abril de 1974.

$$\frac{1}{R^n} = 1 - 2 \left[ \frac{1 - \alpha}{\alpha} \right] \left[ \frac{R - 1}{R + 1} \right]^{N-n}, \quad (9.9)$$

donde

R = Desarrollo porcentual de la demanda

$\alpha$  = Exponente del factor de escala

N = Vida útil del equipo

n = Período óptimo

El desarrollo porcentual de la demanda (R) es una función de la tasa de crecimiento estimada del mercado (r), que se puede expresar de la siguiente forma:

$$R = (1 + r). \quad (9.10)$$

Una vez calculado el n óptimo, se incorpora en la fórmula siguiente, para determinar el tamaño óptimo del proyecto:

$$D_n = D_0 (1 + r)^n, \quad (9.11)$$

donde:

$D_0$  = Magnitud del mercado actual

$D_n$  = Tamaño óptimo

Obviamente, este procedimiento sólo considera la restricción del mercado, sin incorporar las limitaciones que imponen las variables señaladas en la sección 9.2. anterior.

La aplicación de estas fórmulas supone disponer de información confiable relativa a la magnitud del mercado actual, al desarrollo esperado del mercado, a la vida útil del equipo y al exponente del costo de capital.

Supóngase que se ha determinado una magnitud del mercado actual de 1.000 unidades diarias. Para definir el tamaño óptimo se dispone de la siguiente información:

- Tasa de crecimiento del mercado: 5% anual
- Vida útil estimada de los equipos: 10 años
- Exponente del factor de escala: 0.6

Al reemplazar mediante estos valores en la ecuación 9.9 se tiene:

$$\frac{1}{(1 + 0.05)^n} = 1 - 2 \left[ \frac{1 - 0.6}{0.6} \right] \left[ \frac{(1 + 0.05) - 1}{(1 + 0.05) + 1} \right]^{10-n},$$

que es lo mismo que:

$$1 = (1 + 0.05)^n - 2(1 + 0.05)^n \left[ \frac{1 - 0.6}{0.6} \right] \left[ \frac{(1 + 0.05) - 1}{(1 + 0.05) + 1} \right]^{10-n},$$

o sea:

$$1 = (1.05)^n - 1.33(1.05)^n (0.0244)^{10-n}$$

Por el método de aproximaciones sucesivas se determinó que el valor de  $n$  es 9,6 años, aproximadamente.

Al aplicar el valor calculado a la ecuación 9.11 se tiene:

$$D_{9.6} = 1\ 000 (1.05)^{9.6},$$

de donde se obtiene que:

$$D_n = 1\ 597.41.$$

Esto señala que el tamaño óptimo en función de las expectativas de crecimiento del mercado debería programarse para satisfacer una demanda de 1. 597 unidades. Es obvio que éste es sólo un antecedente más para tomar la decisión.

## 9.7 Resumen

En el capítulo 9 se desarrolló uno de los factores más importantes en la preparación de un proyecto: su tamaño. La gran influencia de este factor en el resultado de la evaluación ha significado que prosperen escasas técnicas de análisis para su aplicación a decisiones sobre esta materia. Una de ellas, que presenta grandes ventajas comparativas sobre el resto, es la de la optimización del VAN del proyecto. Es decir, el tamaño no se considera como un objetivo en sí mismo, sino que se determina en función de su contribución al resultado del proyecto. Las alternativas de tamaño que se incluyen en la optimización del VAN son condicionadas, a su vez, por las que se han denominado variables determinantes del tamaño. De esta forma, las alternativas consideradas superan las restricciones planteadas por el mercado, la tecnología, las economías de escala y otras.

Otros modelos, como el de la máxima utilidad, contribuyen como técnica individual de análisis, pero sólo incorporando información aproximada, por el carácter contable de sus fuentes. Es preciso señalar, sin embargo, que las estimaciones contables no son más complejas que las necesarias para la evaluación por el criterio del VAN, aunque sus resultados sí son menos confiables.

De igual forma, los procedimientos para calcular las inversiones para distintos tamaños, basados en exponentes de algún factor de escala previamente determinado, constituyen sólo una aproximación válida únicamente en nivel de prefactibilidad y nada más que en los casos en que la aproximación se justifique.

Cualquiera sea el caso, el comportamiento futuro de la demanda no puede excluirse de ningún análisis. Aunque lo óptimo sería incluir sus variaciones futuras en el flujo de caja elaborado para calcular el VAN del proyecto, existen algunos procedimientos que se aproximan a un resultado. Su aplicación, salvo contadas excepciones, conduce a error, por no considerar otras variables determinantes del tamaño.

PREGUNTAS Y PROBLEMAS

1. El tamaño de un proyecto nunca debe ser mayor que la demanda actual. Comente.
2. ¿Por qué se dice que el tamaño es función del tiempo?
3. ¿Cuáles son las principales variables determinantes del tamaño?
4. ¿Qué se entiende por "economías de escala"?
5. ¿Cuáles son las principales causas que motivan la búsqueda de economías de escala?
6. Explique la relación que existe entre el tamaño y la distribución geográfica de un proyecto.
7. ¿De qué manera el proceso tecnológico condiciona el tamaño de un proyecto?
8. ¿Qué se entiende por "tasa interna de retorno marginal del tamaño"?
9. ¿Cómo es posible determinar conceptual y matemáticamente el tamaño óptimo de un proyecto?
10. ¿Cuáles son las características principales del modelo de la máxima utilidad?
11. ¿Qué es el "exponente del factor de escala"?
12. ¿Qué limitación presenta el método de demanda creciente para el cálculo del tamaño óptimo de un proyecto y en qué condiciones es aplicable?
13. En la fabricación de cada unidad de un producto se consume una hora máquina y una hora de mano de obra.  
 La tasa de MO es de \$400. Los materiales usados en cada unidad se valoran en \$300 y los CIF variables se estiman en \$200 por unidad.  
 Los CIF fijos anuales alcanzan a \$12 000 000.  
 Los costos de MO corresponden a \$24 000 000. La tasa de \$400 es el resultado de su prorrateo entre 60.000 unidades que se espera producir el próximo año.  
 Los gastos de administración y ventas variables alcanzan a \$100 la unidad, mientras que los fijos anuales a \$3 000 000. Para producir 60.000 unidades se requieren activos valorados en \$60 000 000. Para capital de trabajo, se deberá considerar una inversión equivalente a un 25% de las ventas.  
 El inversionista desea una rentabilidad del 20%. Si la tasa de impuestos es de un 10%, ¿cuál es el resultado esperado para este tamaño de operación? Para mantener una rentabilidad de 20%, ¿qué cantidad se deberá vender para poder hacerlo a \$1 300 la unidad?
14. En un estudio de prefactibilidad, se busca determinar la demanda mínima que el estudio de mercado debe demostrar para que el proyecto continúe evaluándose.  
 Se dispone de los siguientes antecedentes:
  - a) La competencia cobra un precio único de \$1 000 la unidad.
  - b) Existe un tamaño de planta mínimo que claramente supera la capacidad de demanda del mercado.
  - c) La inversión total se espera sea del orden de los \$40 000 000. Será financiado en un 75% por préstamo al 10% y el resto con aportes que requieren un retorno del 14%.
  - d) El costo variable unitario es de \$300.
  - e) El costo fijo, incluyendo depreciación, es de \$6 000 000 anuales.
  - f) El capital de trabajo equivale a un 40% de las ventas anuales. Será financiado todo con capital propio.
  - g) La tasa de impuesto es de un 10%.
15. Para un nuevo proyecto se estiman los siguientes costos fijos en función del nivel de producción.

Unidades		Costos fijos anuales	
0	a	500 000	\$ 5 000 000
500 001	a	1 000 000	\$ 8 500 000
1 000 001	a	1 500 000	\$ 10 200 000
1 500 001	a	2 000 000	\$ 12 200 000



A una capacidad normal de 1 400 000 unidades se estimaron costos variables de \$8 400 000. La capacidad total instalada permite una producción de 2 000 000 unidades anuales.

A una demanda asegurada de 1 000 000 de unidades anuales con un precio de venta \$15, ¿cuál es el número mínimo de unidades adicionales que se necesita vender al precio de \$13 por unidad para mostrar una utilidad de \$1 000 000 anuales?

#### CASO: CIA. AEREA NACIONAL, S.A.

La dirección de la Compañía Aérea Nacional, S.A., se encontraba reunida para dar solución al problema de aumento en la demanda de viajes a las ciudades de Texia y Wanda, desde y hacia la capital, Incor.\*

El directorio estaba formado por cinco miembros; el Sr. Zolti, su presidente; cuatro directores, los señores Piazz, Chira, Covas y Olk, los cuales tenían distintas posiciones frente al problema. Participaba además en la reunión un sobrino del Sr. Zolti, el Sr. Kunz, egresado de administración de la Universidad de Incor.

Transcurridas ya casi dos horas de reunión se había logrado consenso respecto a que sería necesario adquirir un nuevo avión que permitiera satisfacer el exceso de demanda detectado en los tramos Texia-Incor y Wanda-Incor.

Ahora la discusión se ha centrado fundamentalmente en la elección de uno de dos modelos de aviones existentes en el mercado, que permitirían satisfacer los mayores niveles de demanda.

"Yo opino", dice el Sr. Piazz, "que el modelo F-25 es el que más nos conviene, ya que tiene una capacidad de 50 pasajeros; en cambio el F-20 sólo posee una capacidad de 38 pasajeros".

"Yo creo", dice el Sr. Zolti, "que no debemos olvidar los costos. Es cierto que el F-25 posee mayor capacidad, pero también requiere de 222 litros de combustible (\$1 = 1 lt) por hora de vuelo; en cambio, el F-20 sólo necesita 180 litros".

"Es necesario agregar, además", plantea el Sr. Chira, "que también existen ahorros del F-20 en relación al F-25, en términos de tripulación, ya que por ser un modelo más pequeño requiere sólo de cuatro tripulantes, en lugar de cinco, lo que se traduce en un ahorro de \$6 por hora de vuelo".

"Yo no sé cuál es el problema", opina el Sr. Covas, "si ambos modelos de aviones tardarán cinco horas entre Incor y Texia, ida y vuelta, y tres y media hora entre Incor y Wanda, ida y vuelta. Además, los dos modelos nos significan una inversión de \$680 000".

"Es cierto lo que usted dice, Sr. Covas", plantea el Sr. Olk, "respecto a los niveles de inversión y horas de vuelo, pero no debemos olvidar que el F-25 que se nos ofrece ha cumplido un año volando ocho horas diarias, y sus horas de vuelo útil recién salido de fábrica estaban estimadas en 18.420 horas; en cambio, el F-20 cuenta con sólo 15.500 horas de vuelo útil recién salido de fábrica".

"Además", plantea el Sr. Zolti, "el F-20 lo compramos nuevo y sus costos de mantención son de \$54 por hora de vuelo, en comparación con los \$60 del F-25".

"Creo que hemos dejado de lado", opina el Sr. Covas, "que el estudio de mercado realizado por nuestro Departamento de Marketing determinó el siguiente cuadro de demanda diaria de pasajes para nuestra línea":

	INCOR	WANDA	TEXIA
INCOR	—	22	45
WANDA	22	—	—
TEXIA	45	—	—

\*Véase el Anexo 1.

"Usted tiene mucha razón", dice el Sr. Chira, "y también es rescatable de dicho estudio la variable precio para los distintos itinerarios de viaje, la que es de \$60 por pasajero para el tramo Incor-Texia-Incor y de \$55 para el de Incor-Wanda-Incor".

"No han pensado ustedes", recalca el Sr. Piazz, "en los costos variables, que son de \$4 por hora de vuelo por concepto de alimentación, tintorería, etcétera, y que son iguales para ambos modelos, al igual que los seguros que son de \$4 por hora de vuelo".

Se había tornado tan acalorada la reunión que el Sr. Zolti se percató de que se requería de un estudio más acabado de la situación, para poder así llegar a la solución óptima. Por tal motivo encomendó al Sr. Kunz la evaluación de ambas alternativas y que recomendará una solución técnicamente analizada.

## Anexo 1

### Itinerario de vuelo

Incor	Llega	
	Sale	8:30
Wanda	Llega	11:00
	Sale	12:00
Incor	Llega	14:30
	Sale	16:00
Texia	Llega	17:45
	Sale	18:45
Incor	Llega	20:30
	Sale	

## BIBLIOGRAFIA

- GUADAGNI, A.A. "El problema de la optimización del proyecto de inversión: consideración de sus diversas variantes". En BID-ODEPLAN, *Programa de adiestramiento en preparación y evaluación de proyectos*. Santiago, 1976, vol V.
- ILPES. *Guía para la presentación de proyectos*. Santiago: Siglo Veintiuno - Editorial Universitaria, 1977.
- NACIONES UNIDAS. *Manual de proyectos de desarrollo económico* (publicación 5.58.11. G. 5.). México, 1958.
- \_\_\_\_\_. "Tamaño de la fábrica y economías de escala". En BID-ODEPLAN, *Programa de adiestramiento en preparación y evaluación de proyectos*. Santiago, 1976, vol. V.
- OCHOA, H.J. "Tamaño". En BID-ODEPLAN, *Programa de adiestramiento en preparación y evaluación de proyectos*. Santiago, 1976, vol.V.
- ODEPLAN. *Preparación y presentación de proyectos de inversión*. Santiago, 1975.
- OECD. *Manual of Industrial Project Analysis in Developing Countries*. Paris: Development Centre of the Organization for Economic Cooperation and Development, 1972.

# CAPITULO 10

## DECISIONES DE LOCALIZACION

En los capítulos anteriores se han considerado los principales temas del estudio técnico de un proyecto. Queda todavía un punto de interés cuya trascendencia se manifiesta en la totalidad de los factores que condicionan el resultado de la evaluación: su localización. Esta no sólo determinará la demanda real del proyecto, sino que también será fundamental en la definición y cuantificación de sus ingresos y costos.

La importancia de una selección apropiada para la localización del proyecto se manifiesta en diversas variables cuya recuperación económica podría hacer variar el resultado de la evaluación, comprometiendo en el largo plazo una inversión de probablemente grandes cantidades de capital, en un marco de carácter permanente de difícil y costosa alteración.

La decisión de localización de un proyecto es una decisión de largo plazo, con repercusiones económicas importantes que deben considerarse con exactitud. Esto requiere que su análisis se realice en forma integrada a las restantes variables del proyecto: demanda, transporte, competencia, etcétera. El objetivo de este capítulo es presentar los principales criterios y técnicas de evaluación de la localización del proyecto.

### 10.1 El estudio de la localización

La localización tiene un efecto condicionador sobre la tecnología utilizada en el proyecto, tanto por las restricciones físicas que importa como por la variabilidad de los costos de operación y capital de las distintas alternativas tecnológicas asociadas a cada ubicación posible.

Al estudiar la localización del proyecto es posible concluir que hay más de una solución factible adecuada. Más todavía cuando el análisis se realiza en nivel de prefactibilidad, donde las variables relevantes no son determinadas en forma concluyente. De igual forma, una localización que se ha determinado como óptima en las condiciones vigentes puede no serlo en el futuro. Por lo tanto, la selección de la ubicación debe considerar su carácter definitivo o transitorio y optar por aquella que permita obtener el máximo rendimiento del proyecto.

El estudio de la localización no será entonces una evaluación de factores tecnológicos. Su objetivo es más general que la ubicación por sí misma; es elegir aquella que permita las mayores ganancias entre las alternativas que se consideran factibles. Sin embargo, tampoco el problema es puramente económico. Los factores técnicos, legales, tributarios, sociales, etcétera, deben necesariamente tomarse en consideración, sólo que la unidad de medida que homologue sus efectos en el resultado del proyecto pueden reducirse, en algunos casos, a términos monetarios. Siempre quedará la variable subjetiva no cuantificable que afectará la decisión, como, por ejemplo, las motivaciones personales del empresario.

La teoría económica de la localización reduce el problema a un aspecto de ganancias máximas. Esto es, considerar el objetivo más general del proyecto: aquella localización que le otorgue la mayor rentabilidad. Para esto, es necesario elaborar y evaluar el flujo de efectivo relevantes de cada alternativa, en los términos que se definirán en el capítulo 17.

El análisis de la ubicación del proyecto puede realizarse con distintos grados de profundidad, que dependen del carácter de factibilidad, prefactibilidad o perfil del estudio. Independientemente de ello, hay dos etapas necesarias que realizar: la selección de una macrolocalización y, dentro de ésta, la de la microlocalización definitiva. Muchas veces se considera que en nivel de prefactibilidad sólo es necesario definir una macrozona. Sin embargo, no hay una regla al respecto.

La selección de la macro y microlocalización está condicionada al resultado del análisis de lo que se denomina factor de localización. Cada proyecto específico tomará en consideración un conjunto distinto de estos factores. Así también, la selección de la macrozona tendrá que considerar, para un mismo proyecto, muchos factores de localización diferentes de los que se utilizarán en la elección de la microubicación. Por ejemplo, factores como las políticas impositivas, las influencias climáticas y otras que tienen preponderancia en la selección de la macrolocalización, no son relevantes para elegir una microzona dentro de aquella, puesto que su efecto sería común a toda ella.

Teóricamente, las alternativas de ubicación de un proyecto son infinitas. En términos prácticos, el ámbito de elección no es tan amplio, pues las restricciones propias del proyecto descartan muchas de ellas. La selección previa de una macrolocalización permitirá, a través de un análisis preliminar, reducir el número de soluciones posibles, al eliminar los sectores geográficos que no respondan a las condiciones requeridas por el proyecto. Sin embargo, debe tenerse presente que el estudio de la microlocalización no corregirá los errores en que se pudo haber incurrido en la macrolocalización. El análisis de microlocalización sólo indicará cuál es la mejor alternativa de instalación dentro de la macrozona elegida.

La deficiente recolección de datos es la principal causa de los errores de la selección, lo que se manifiesta generalmente en costos excesivamente altos, debidos

a la "seducción del lugar, a medios de transporte insuficientes, a dificultades para captar mano de obra especializada en número suficiente, a la falta de agua y a la incapacidad de deshacerse de desechos"<sup>1</sup>, entre otros factores.

## 10.2 Factores de localización

Los factores que más comúnmente influyen en la decisión de la localización de un proyecto se analizan en este apartado.

Las alternativas de instalación de la planta deben compararse en función de las fuerzas locacionales típicas de los proyectos. Se han elaborado muchas listas de esta fuerza como elementos de referencia para su evaluación. Algunas, como la publicada por la revista *Industrial Development*<sup>2</sup>, por ejemplo, han llegado a presentar una lista de 753 de estos factores. Una clasificación más concentrada debería incluir por lo menos los siguientes factores globales:

- Medios y costos del transporte.
- Disponibilidad y costo de mano de obra
- Cercanía de las fuentes de abastecimiento
- Factores ambientales
- Cercanía del mercado
- Costo y disponibilidad de terrenos
- Topografía de suelos
- Estructura impositiva y legal
- Disponibilidad de agua, energía y otros suministros
- Comunicaciones
- Posibilidad de desprenderse de desechos

La cercanía de las fuentes de materias primas, por ejemplo, depende del costo del transporte, tanto cuando el proceso redunde en una reducción de peso significativa como cuando se elaboran o envasan artículos perecederos. Normalmente, cuando la materia prima (como la madera) es procesada para obtener productos diferentes, la localización tiende hacia la fuente del insumo; en cambio, cuando el progreso requiere de variados materiales o piezas para ensamblar un producto final, la localización tiende hacia el mercado. La disponibilidad de los insumos, cualquiera sea su naturaleza, se debe estudiar en términos de la regularidad de su abastecimiento, perecibilidad, calidad y costo.

Respecto a la mano de obra, la cercanía del mercado laboral adecuado se convierte generalmente en un factor predominante en la elección de la ubicación. Más aun cuando la tecnología que se emplee sea intensiva en mano de obra. Sin embargo, diferencias significativas en los niveles de remuneraciones entre alternativas de localización podrían hacer que la consideración de este factor sea puramente de carácter económico.

La tecnología del proceso puede también en algunos casos convertirse en un factor prioritario de análisis, si requiriera algún insumo en abundancia y a bajo

---

<sup>1</sup> "Site Selection", *Factory* 122 (5): 197, 1960.

<sup>2</sup> "The factors for Expansion Planning", *Industrial Development* 129 (11): 64, 1960.

costo, tal como el agua en una una planta productora de bebidas alcohólicas o la electricidad en una planta de la industria metalmecánica.

Existen, además, una serie de factores no relacionados directamente con el proceso productivo, pero que condicionan en algún grado la localización del proyecto. Dervitsiotis<sup>3</sup> señala al respecto tres factores, que denomina genéricamente ambientales: a) la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de apoyo, donde incluye los servicios públicos de electricidad y agua, protección contra incendios, comunicación rápida y segura y otros; b) las condiciones sociales y culturales, donde se estudian no sólo las variables demográficas como tamaño, distribución, edad y cambios migratorios, entre otras, sino también aspectos como la actitud hacia la nueva industria, disponibilidad, calidad y confiabilidad en los trabajadores en potencia, tradiciones y costumbres que pueden interferir con las modalidades conocidas de realizar negocios, etcétera y c) las consideraciones legales y políticas, que dan el marco de restricciones y oportunidades al análisis, tales como leyes sobre niveles de contaminación, especificaciones de construcción, franquicias tributarias o agilidad en la obtención de permisos para las nuevas instalaciones.

Otro factor importante en la decisión es el costo del transporte. La distancia entre las alternativas de localización con las fuentes de abastecimiento y el mercado consumidor debe considerarse, principalmente, en función de los costos que implica el transporte.

No sólo se deben estudiar las tarifas y las distancias al estudiar el transporte. El acceso, en cuanto al tiempo y demoras, a la cantidad de maniobras necesarias para llegar a destino, a la congestión del tránsito, al paso por calles centrales de una ciudad o la posibilidad de detenciones no controlables originadas por las características de cada ruta (nevazones en la cordillera, aludes, etcétera), condicionarán el costo del transporte.

Al estudiar la localización, muchas veces será el factor transporte el único determinante de la decisión. Es común, especialmente en nivel de prefactibilidad, que se determine un costo tarifario, sea en volumen o en peso, por kilómetro recorrido. Si se emplea esta unidad de medida, su aplicación difiere según se compre la materia puesta en planta o no. Por ejemplo, si el proyecto fuese agroindustrial e implicase una recolección de la materia prima en varios predios, el costo de ésta puesta en planta dependerá de la distancia en que se transporta, ya que el costo del flete deberá incorporarse a su precio.

Supóngase el siguiente ejemplo para explicar lo anterior. Una planta requiere 300 toneladas anuales de remolacha como insumo y las disponibilidades conocidas para una localización dada en función de las distancias son las indicadas en el Cuadro 10.1.

**Cuadro 10.1:** Distancias y producciones disponibles para el proyecto

PREDIO	DISTANCIA A LA PLANTA	PRODUCCION DISPONIBLE PARA EL PROYECTO
A	30 km.	150 ton.
B	40 km.	50 ton.
C	60 km.	100 ton.

<sup>3</sup> DERVITSIOTIS, Kostas N. *Operations Management*. N. York: McGraw-Hill, 1981, p. 385.

Si el precio de la remolacha puesta en el predio fuese de \$100 la tonelada y el flete se ha calculado en \$2 ton/km, se puede elaborar el Cuadro 10.2 de costos comparativos.

Cuadro 10.2. Costos de transporte

PREDIO	DISTANCIA	PRODUCCION LA MATERIA PRIMA	COSTO DE LA MATERIA PRIMA	COSTO DEL TRANSPORTE	COSTO TOTAL	COSTO MARGINAL	COSTO MEDIO
	A PLANTA						
A	30	150	15 000	9 000	24 000	160	160
B	40	50	5 000	4 000	9 000	180	165
C	60	100	10 000	12 000	22 000	220	183

Si la materia prima se adquiere en los predios y se transporta en vehículos (propios o ajenos) a la planta, obviamente el costo medio, \$183 la tonelada, es el costo real para el proyecto.

Pero si el producto se compra puesto en planta, deberá ofrecerse a un precio tal que satisfaga el interés del productor localizado en el predio C. Es decir, \$220 la tonelada. Se podrá argumentar que primero se ofrecerá un precio de \$160, hasta haber satisfecho las expectativas del productor situado en el predio A, que luego se subirá a \$180, hasta adquirir la producción de B, y luego a \$220, llegando también a un promedio de \$183. Sin embargo, esto podría resultar una vez. Al año siguiente el productor del predio más cercano a la planta no responderá al precio inicial, a la espera del alza ocurrida el año anterior. El análisis, si bien debe responder a las características de cada proyecto, debe considerar este factor, que puede llegar a ser determinante en la elección de una localización.

La naturaleza, disponibilidad y ubicación de las fuentes de materia prima, las propiedades del producto terminado, y la ubicación del mercado son también factores generalmente relevantes en la decisión de la localización del proyecto. Muchas veces el volumen de la materia prima por transportar es superior al volumen del producto terminado. Por ejemplo, la leche para producir quesos y mantequilla, las papas para elaborar puré deshidratado, los minerales en la industria siderúrgica, etcétera. En estos casos la tendencia es situar la planta cerca de las fuentes de los recursos. Pero también puede suceder que el volumen de materia prima por transportar sea menor que el del producto terminado o que el costo del transporte de este último sea mayor, por su naturaleza, que el de la materia prima. En estas situaciones se tiende a localizar la planta cerca de los mercados.

Sin embargo, no siempre son tan evidentes las ventajas de una u otra localización. Los volúmenes, pesos, distancias, tarifas vigentes, carácter perecedero del producto transportado, etcétera, se deben evaluar en forma conjunta, para medir los efectos complementarios.

La disponibilidad y costo de los terrenos en las dimensiones requeridas para servir las necesidades actuales y las expectativas de crecimiento futuro de la empresa creada por el proyecto, es otro factor relevante que hay que considerar. De igual forma, pocos proyectos permiten excluir consideraciones acerca de la topografía y condiciones de suelos o de la existencia de edificaciones útiles aprovechables o del costo de la construcción.

Muchos países utilizan la incentivación tributaria para el desarrollo de determinadas zonas geográficas de interés geopolítico. Por esto es necesario el estudio de las políticas de descentralización existentes y de las ventajas legales y tributarias de las localizaciones optativas, así como de las restricciones o prohibiciones que pudieran existir en la instalación de ciertas industrias en determinadas zonas.

### 10.3 Métodos de evaluación por factores no cuantificables

Las principales técnicas subjetivas utilizadas para remplazar la planta consideran sólo factores cualitativos no cuantificados, que tienen mayor validez en la selección de la macrozona que de la ubicación específica. Los tres métodos que se destacan son los denominados de *antecedentes industriales*, *factor preferencial* y *factor dominante*.

El método de los antecedentes industriales supone que si en una zona se instala una planta de una industria similar, ésta será adecuada para el proyecto. Como escribe Reed, "Si el lugar era el mejor para empresas similares en el pasado, para nosotros también ha de ser el mejor ahora".<sup>4</sup> Las limitaciones de este método son obvias, desde el momento que realiza un análisis estático cuando es requerido uno dinámico para aprovechar las oportunidades optativas entre las localidades posibles de elegir.

No más objetivo es el criterio del factor preferencial que basa la selección en la preferencia personal de quien debe decidir (ni siquiera del analista). Así, el deseo de vivir en un lugar determinado puede relegar en prioridad a los factores económicos al adoptar la decisión final. Aunque no es un método basado en la racionalidad económica, es adecuado si se asigna un "costo" a las alternativas de localización no preferidas, evaluándose cuantitativamente por algunos de los métodos que se verán más adelante.

El criterio del factor dominante, más que una técnica, es un concepto, puesto que no otorga alternativas a la localización. Es el caso de la minería o el petróleo, donde la fuente de los minerales condiciona la ubicación. La alternativa de instalarse en la fuente es no instalarse.

### 10.4 El análisis dimensional

La técnica conocida por el nombre de análisis dimensional es un procedimiento de selección de una localización basado en la eliminación sistemática de una entre dos alternativas comparadas. La simplicidad del procedimiento del análisis se complica al considerar que la unidad de medida para la comparación, aun siendo cuantitativa, tiene un carácter de alta subjetividad, puesto que, como se verá enseguida, asigna puntajes relativos basados en una estimación cualitativa de los factores relevantes de localización no cuantitativos.

El primer paso de este procedimiento consiste en definir todos los factores relevantes de localización, determinando si se utilizará un elemento de costo o un

---

<sup>4</sup> REED, Ruddell. *Localización, layout y mantenimiento de planta*. B. Aires: El Ateneo, 1976, p. 20.



puntaje como unidad de medida. Si es de costo, se asignará éste a las dos alternativas que se estén comparando. Si es por puntaje, se le asignará en una escala cualquiera (de uno a diez, por ejemplo) que manifieste la posición relativa de una respecto a la otra alternativa de localización en estudio. Puesto que se comparan en términos de costo, se asignará un puntaje menor a la mejor alternativa.

El siguiente paso, de relativa subjetividad, es asignar un orden prioritario a los factores de localización que, al igual que entre las alternativas de ubicación, represente la posición relativa de los factores.

Definiendo por  $S_{ij}$  los puntajes o costos de la localización  $i$  asociados al factor de localización  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ , donde  $n$  es el número de factores considerados relevantes para la decisión) y por  $P_j$  la ponderación relativa de los factores  $j$ , el procedimiento de eliminación se reduce a la aplicación directa de la siguiente expresión:

$$\prod_{j=1}^n \left[ \frac{S_{Aj}}{S_{Bj}} \right]^{P_j}, \quad (10.1)$$

donde  $\pi$  representa la multiplicatoria de los  $\left[ \frac{S_{Aj}}{S_{Bj}} \right]^{P_j}$  y donde A y B son las dos localizaciones que se comparan.

Si el resultado de la ecuación 10.1 es mayor que uno, los méritos de la alternativa B son mayores que los de la alternativa A.<sup>5</sup> Si el resultado es menor que uno, la localización A es mejor, y si es uno, ambas alternativas son indiferentes. En este último caso debe necesariamente elegirse una, puesto que el procedimiento de eliminación sistemática determina que por comparaciones sucesivas de pares de alternativas se seleccione una sola en definitiva.

El siguiente ejemplo muestra la aplicación del análisis dimensional. Supóngase que se desea comparar los méritos de dos localizaciones probables, para lo que se han seleccionado cinco factores pertinentes, dos de costos y tres de puntaje, cuyas posiciones relativas se resumen en el Cuadro 10.3.

Cuadro 10.3. Valores relativos de los factores locacionales

FACTOR	CARACTER	LOCALIZACION		FACTOR PONDERADO
		A	B	
1	Costo	10 000	30 000	1
2	Costo	2 000 000	1 500 000	4
3	Puntaje	5	2	3
4	Puntaje	4	4	3
5	Puntaje	4	7	4

<sup>5</sup> Esto es así porque se comparan costos. Si fuesen beneficios, A sería mayor que B. Nótese que si fuesen beneficios, la asignación de puntaje también sería inversa a la señalada para ambas alternativas de localización.

Aplicando la fórmula 10.1 se tiene:

$$\left[ \frac{10\,000}{30\,000} \right]^1 \times \left[ \frac{2\,000\,000}{1\,500\,000} \right]^4 \times \left[ \frac{5}{2} \right]^3 \times \left[ \frac{4}{4} \right]^3 \times \left[ \frac{4}{7} \right]^4 = 1.76.$$

En consecuencia, la localización B es superior en méritos a la A, en función de los cinco factores considerados. Si hubiera una tercera alternativa de localización, C, se repetiría el mismo procedimiento entre C y B.

El ejemplo anterior permite explicar también por qué utilizar la fracción  $\frac{S_{Aj}}{S_{Bj}}$ .

De esta forma, y sólo así, todas las expresiones se reducen a un término único de posición relativa, evitando considerar dos unidades de medida distintas (costo y puntaje).

### 10.5 Métodos por suma de costos

Los métodos de orden cuantitativo más comúnmente utilizados para seleccionar la ubicación de un proyecto se basan en la suma de los costos (o ganancias) relacionados con cada localización. Para ello, basta con enumerar los factores para los cuales es posible calcular un costo o ganancia pertinente para el análisis de alternativas, eligiendo aquélla que presente la menor suma de costos o el mayor beneficio.

La evaluación por este método puede ser más compleja si las posibles localizaciones involucran modificaciones entre sus variables significativas. Por ejemplo, si se determina que una planta reduce sus costos unitarios mientras se aleja del mercado, puede suceder que su mercado potencial también disminuya por el carácter perecedero que podría tener el producto o por las mayores dificultades para cumplir con los plazos de entrega exigidos por el mercado. De esta forma, no sólo se ve afectada la variable ventas, sino que probablemente también la variable tamaño o el monto de la inversión en capital de trabajo, entre otras, si se compensa la dificultad de cumplimiento de plazos con mayores ventajas crediticias para el cliente.

Hay también situaciones en que no es claro, por las múltiples implicaciones señaladas, llegar a una conclusión única en esta etapa del estudio. En estos casos, se tratará de seleccionar, en un análisis preliminar, aquellas localizaciones que podrían ser significativas para los resultados del proyecto, y evaluar éste tantas veces como alternativas de localización se preseleccione. En el capítulo 20, relativo a la sensibilización del proyecto, se volverá a este tema.

Las alternativas de localización, en muchos casos, podrían implicar la generación de flujos de caja diferentes en el tiempo. Si es así, es necesario reemplazar el criterio de la suma simple de costos por un factor de corrección del valor del dinero en el tiempo. El procedimiento que permite esta operación es el mismo que se emplea para evaluar económica o financieramente un proyecto, y se explica detalladamente en el capítulo 17. Frente a cualquier situación como la indicada es preciso seguir el procedimiento que en ese capítulo se plantea.

## 10.6 El método de Brown y Gibson

Brown y Gibson<sup>6</sup> proponen también un método que combina factores objetivos posibles de cuantificar con factores subjetivos que se pueden valorar en términos relativos. La aplicación de este enfoque se inicia con una etapa inicial de eliminación de todas aquellas alternativas que no cumplen con los requisitos mínimos exigidos a la localización del proyecto. Posteriormente, reconoce un proceso que consta de las cuatro siguientes etapas:

a) Asignar un valor relativo a cada factor objetivo  $FO_i$  para cada localización optativa viable.

b) Estimar un valor relativo de cada factor subjetivo  $FS_i$  para cada localización optativa viable.

c) Combinar los factores objetivos y subjetivos, asignándoles una ponderación relativa, para obtener una medida de preferencia de localización MPL.

d) Seleccionar la ubicación que tenga la máxima medida de preferencia de localización.

La aplicación del modelo en cada una de sus etapas lleva a desarrollar la siguiente secuencia de cálculo:

a) *Cálculo del valor relativo de los  $FO_i$* . Normalmente los factores objetivos son posible de cuantificar en términos de costo, lo que permite calcular el costo total anual de cada localización  $C_i$ . Luego, el  $FO_i$  se determina multiplicando  $C_i$  por la suma de los costos recíprocos de cada lugar ( $1/C_i$ ) y tomando el recíproco de su resultado. Vale decir:

$$\frac{1/C_i}{\sum_{i=1}^n 1/C_i} \quad (10.2)$$

Supóngase, para ejemplificar, que en un proyecto se han identificado tres localizaciones que cumplen con todos los requisitos exigidos. En todas ellas, los costos de mano de obra, materias primas y transportes son diferentes, siendo el resto de los costos iguales (energía, impuestos, distribución, etcétera).

Si los costos anuales fuesen los del Cuadro 10.4, el  $FO_i$  se obtendría como se indica.

Cuadro 10.4. Costos anuales de los factores locacionales

CÓSTOS ANUALES (millones)						
Localización	Mano de obra	Materias Primas	Transporte	Otros	Total $C_i$	Recíproco $1/C_i$
A	9,1	10,7	3,2	7,5	30,5	0,03279
B	9,7	10,3	3,8	7,5	31,3	0,03195
C	8,9	11,8	3,9	7,5	32,1	0,03115
<b>TOTAL</b>						<b>0,09589</b>

<sup>6</sup> BROWN, P.A. y GIBSON, D.F., "A Quantified Model for Facility Site Selection Application to a Multiplant Location Problem", *AIIE transactions* 4 (1), 1972.

El factor de calificación objetiva para cada localización se obtiene mediante la sustitución de los valores determinados en la fórmula 10.2.

De esta forma, los factores objetivos de calificación son:

$$FO_A = 0.03279/0.09589 = 0.34193$$

$$FO_B = 0.03195/0.09589 = 0.33319$$

$$FO_C = 0.03115/0.09589 = 0.32488$$

$$\text{TOTAL} \quad \underline{1.00000}$$

Al ser siempre la suma de los  $FO_i$  igual a 1, el valor que asume cada uno de ellos es siempre un término relativo entre las distintas alternativas de localización.

b) *Cálculo del valor relativo de los  $FS_i$ .* El carácter subjetivo de los factores de orden cualitativo hace necesario asignar una medida de comparación que valore los distintos factores en orden relativo, mediante tres subetapas:

- Determinar una calificación  $W_j$  para cada factor subjetivo ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) mediante comparación pareada de dos factores. Según esto, se escoge un factor sobre otro, o bien, ambos reciben igual calificación.

- Dar a cada localización una ordenación jerárquica en función de cada factor subjetivo  $R_{ij}$  ( $0 \leq R_{ij} \leq 1, \sum_i R_{ij} = 1$ ).

- Para cada localización, combinar la calificación del factor  $W_j$ , con su ordenación jerárquica  $R_{ij}$ , para determinar el factor subjetivo  $FS_i$ , de la siguiente forma:

$$FS_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} W_j \quad (10.3)$$

Supóngase que los factores subjetivos relevantes sean el clima, la vivienda y la educación y que el resultado de las combinaciones pareadas sea el indicado en el Cuadro 10.5, donde se asigna la columna de comparaciones pareadas en valor 1 al factor más relevante y 0 al menos importante, mientras que cuando son equivalentes se asigna a ambos un factor 1.

**Cuadro 10.5.** Cálculo del índice de importancia relativa

FACTOR (i)	COMPARACIONES PAREADAS			SUMA DE PREFERENCIA	INDICE DE IMPORTANCIA RELATIVA $W_i$
	1	2	3		
Clima	1			2	2/4=0.50
Vivienda	0	1	1	1	1/4=0.25
Educación			1	1	1/4=0.25
Total		0		4	1.00

El análisis que permitió la elaboración del índice de importancia relativa  $W_j$  se utiliza para determinar, además, la ordenación jerárquica  $R_{ij}$  de cada factor subjetivo, en la forma que se indica en el Cuadro 10.6.

En el Cuadro 10.7 se resumen los resultados de los factores subjetivos de evaluación obtenidos en los Cuadros 10.5 y 10.6.

Cuadro 10.6. Resultados de las comparaciones pareadas

FACTOR  LOCALIZACION	CLIMA					VIVIENDA					EDUCACION				
	COMPARACIONES PAREADAS			SUMA DE PREF.	R <sub>11</sub>	COMPARACIONES PAREADAS			SUMA DE PREF.	R <sub>12</sub>	COMPARACIONES PAREADAS			SUMA DE PREF.	R <sub>13</sub>
	1	2	3			1	2	3			1	2	3		
A	1	1		2	$2/4 = 0.50$	0	0		0	$0/4 = 0.00$	0	0		0	$0/3 = 0.00$
B	1			1	$2/4 = 0.50$	1			1	$2/4 = 0.50$	1			0	$1/3 = 0.33$
C		0	0	0	$0/4 = 0.00$		1	1	2	$2/4 = 0.50$		1	1	2	$2/3 = 0.67$
TOTAL				4	1.00				4	1.00				3	1.00

**Cuadro 10.7.** Resumen de factores subjetivos de evaluación

FACTOR (j)	PUNTAJE RELATIVO $R_{ij}$			INDICE DE IMPORTANCIA RELATIVA ( $W_j$ )
	A	B	C	
Clima	0.50	0.50	0.00	0.50
Vivienda	0.00	0.50	0.50	0.25
Educación	0.00	0.33	0.67	0.25

Reemplazando mediante los valores del Cuadro 10.7 en la fórmula 10.3, se puede determinar la medida de factor subjetivo  $FS_i$  de cada localización. Separadamente para cada localización, se multiplica la calificación para un factor dado  $R_{ij}$  por el índice de importancia relativa de  $W_j$  de ese factor y se suman todos los factores subjetivos. De esta forma se tiene que

$$FS_i = R_{i1} W_1 + R_{i2} W_2 + \dots + R_{in} W_n \quad (10.4)$$

Al reemplazar por los valores del Cuadro 10.7, se obtienen los siguientes factores de calificación subjetiva:

$$FS_A = (0.50) (0.50) + (0.00) (0.25) + (0.00) (0.25) = 0.2500$$

$$FS_B = (0.50) (0.50) + (0.50) (0.25) + (0.33) (0.25) = 0.4575$$

$$FS_C = (0.00) (0.50) + (0.50) (0.25) + (0.67) (0.25) = 0.2925$$

1.0000

c) *Cálculo de la medida de preferencia de localización MPL.* Una vez valorados en términos relativos los factores objetivos y subjetivos de localización, se procede a calcular la medida de preferencia de localización mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$MPL_i = K (FO_i) + (1 - K) (FS_i) \quad (10.5)$$

La importancia relativa diferente que existe, a su vez, entre los factores objetivos y subjetivos de localización hace necesario asignarle una ponderación  $K$  a uno de los factores y  $1-K$  al otro, de manera tal que se exprese también entre ellos la importancia relativa. Si se considera que los factores objetivos son 3 veces más importantes que los subjetivos se tiene que  $K = 3(1 - k)$ . O sea,  $K = 0.75$ .

Reemplazando mediante los valores obtenidos para los  $FO_i$  y los  $FS_i$  en la fórmula 10.5, se determinan las siguientes medidas de preferencia de localización:

$$MPL_A = (0.75) (0.34193) + (0.25) (0.2500) = 0.31895$$

$$MPL_B = (0.75) (0.33319) + (0.25) (0.4575) = 0.36427$$

$$MPL_C = (0.75) (0.32488) + (0.25) (0.2925) = 0.31678$$

1.00000

d) *Selección del lugar.* De acuerdo con el método de Brown y Gibson, la alternativa elegida es la localización B, puesto que recibe el mayor valor de medida de ubicación. Si se hubiere comparado exclusivamente en función de valores

objetivos de esta opción, no habría sido la más atrayente. Sin embargo, la superioridad con que fueron calificados sus factores subjetivos la hace ser más atrayente.

Es fácil apreciar, por otra parte, que un cambio en la ponderación entre factores objetivos y subjetivos podría llevar a un cambio en la decisión.

### 10.7 La localización de un negocio de venta minorista<sup>7</sup>

Los factores que es necesario estudiar para la localización de un establecimiento comercial no difieren en su esencia de los de una planta industrial. Sin embargo, tienen algunas particularidades importantes que merecen señalarse. Más aun cuando la ubicación es fundamental en los ingresos del proyecto a través de la venta directa. Muchas veces este problema se deja a criterio de la motivación personal del empresario, quizás porque éste no alcanza a apreciar la importancia de cuantificar las bondades del lugar.

También al seleccionar la ubicación de un negocio minorista se presenta la decisión secuencial de la macro y microlocalización. El primer caso corresponde a una ciudad o área comercial dentro de una ciudad, mientras que el otro corresponde a la determinación del local en particular donde se ubicará.

Las decisiones de macrolocalización comercial están influidas por numerosos factores. No se pretende que un estudio del lugar de un establecimiento minorista abarque estos factores desde un punto de vista cuantitativo. Al contrario, como podrá apreciarse, muchos de ellos merecen sólo una consideración cualitativa racional de sus efectos futuros en el negocio.

Una caracterización de las industrias de cada zona en estudio dará un marco referencial de la cuantía y estabilidad de ingresos de la población. Mientras más diversificada esté la industria, más estabilidad habrá en el ingreso disponible. De igual forma, si una zona se caracteriza por su crecimiento, su potencial generador de utilidades para un negocio será mayor que otra que ya haya alcanzado o esté próxima a alcanzar su máximo desarrollo.

Relacionada con este factor está la población del área en estudio y su variación esperada, tanto por crecimiento vegetativo como condicionado y por características migratorias, que pueden ser estacionales o permanentes. Obviamente, deberá considerarse la composición de la población en función de la variable atinente al rubro del negocio (edad, sexo, etcétera).

No basta tener una apreciación general de la población. Necesariamente deberán analizarse los hábitos, preferencias y prejuicios de compra de los clientes potenciales. La capacidad de compra, factor determinante en la rentabilidad del local, se puede estimar analizando cifras de empleo-desempleo, remuneraciones promedio, frecuencia de su pago, etcétera. Complementariamente, se podrá evaluar el tipo de vivienda, nivel educacional y cultural de la población y otros factores que permitirán caracterizar de alguna forma al cliente del local.

Hay una serie de otros factores, como la legislación vigente sobre permisos o tributos, la facilidad de acceso al crédito bancario y, en general, aquéllos señalados

---

<sup>7</sup> Parte de las ideas aquí planteadas fueron presentadas en DUNCAN, D.J. y otros. *Venta minorista*. B. Aires: El Ateneo, 1972, p. 34-37.

para la localización industrial, como la cercanía del proveedor o el costo del transporte, que no se puede dejar de considerar, puesto que de alguna forma influirán en la decisión.

En el nivel de microlocalización, el análisis debe necesariamente ser más concreto. Es imprescindible estimar los volúmenes de ventas esperados, por ejemplo, considerando los volúmenes de ventas de los competidores en zonas de características comunes o cercanas. Para esto se deberá considerar los hechos históricos que puedan explicar el comportamiento de la demanda y proyectarlos al futuro.

Los hábitos de compra estudiados en el nivel de macrolocalización se deben particularizar a los lugares de alternativa que se esté considerando. Según el rubro específico de que se trate, una forma útil de analizar al cliente potencial es el tránsito de este público y la proporción de él que sea posible atraer. Por ejemplo, un local de carácter exclusivo no requeriría de un tránsito intensivo, como lo necesitaría un local de venta de abarrotes.

Uno de los factores de mayor influencia en la localización minorista es la competencia. Tanto su número, ubicación, imagen, prestigio e identificación lograda con la comunidad, como los servicios que ofrece, sus sistemas de venta, el crédito y otros, no pueden obviarse en este análisis. Es importante considerar que cada comunidad tiene un concepto que puede ser diferente respecto a una ubicación adecuada. En una ciudad puede ser normal que todos los locales de venta de repuestos y accesorios de vehículos estén concentrados en una calle, mientras que en otra cada local sirve una zona específica.

La accesibilidad también es fundamental para la localización de un local comercial. Los principales factores que hay que considerar son los medios de transporte, las distancias respecto a los barrios de residencia, las congestiones de tránsito y la facilidad de estacionamiento, entre otros.

Así como hay factores que deben buscarse, hay otros que deben evitarse. Por ejemplo, la cercanía a hospitales y garajes, el mal estado de las vías, la cercanía a edificaciones deterioradas, etcétera, salvo excepciones propias de las características del local, son factores que deben evitarse.

## 10.8 Resumen

En este capítulo se ha intentado dejar de manifiesto que la decisión de la localización de un proyecto es determinante en el desarrollo de su evaluación. Aun cuando hay múltiples influencias personales en su definición, las repercusiones económicas de cada alternativa hacen necesario un proceso más profundo de su análisis en la formulación misma del proyecto.

Los factores condicionantes de una ubicación dada son fáciles de enumerar. Sin embargo, será la habilidad del preparador del proyecto la que permitirá seleccionar las realmente relevantes para su análisis. Y ello porque cada proyecto posee particularidades propias que hacen adquirir a cada factor locacional una posición de priorización relativa diferente.

El análisis de la composición de los factores que será menester incluir en el análisis debe responder a un criterio economicista de búsqueda de una localización que dé al proyecto la máxima rentabilidad en su evolución. Muchos factores no pueden, al respecto, ser cuatificados en términos económicos. Para ellos existen



diferentes criterios de medición, basados en factores no cuantificables que dan una aproximación relativamente eficaz sólo en algunos casos.

Contra las desventajas de estos criterios se formula un análisis dimensional que, si bien supera las limitaciones estrictamente cualitativas de los métodos anteriores, mantienen una parte importante de su resultado, dependiendo de la subjetividad del analista.

En definitiva, la selección deberá basarse en lo posible sobre aquella alternativa que, en términos económicos, permita la mayor rentabilidad del proyecto integral. Para ello se plantean dos métodos que se basan, uno, en la suma de costos y, el otro, en la valoración de los flujos económicos en el tiempo. El procedimiento para este último método se explicará en el capítulo 17, puesto que la lógica didáctica así lo recomienda.

### PREGUNTAS Y PROBLEMAS

1. Si el factor locacional prioritario para un proyecto es el transporte y si el volumen de materia prima por movilizar es superior al del producto terminado, la localización tenderá hacia las fuentes de materia prima. Analice.
2. ¿En qué caso recomendaría utilizar el método de los antecedentes industriales para determinar la localización de un proyecto?
3. ¿Cómo se compatibiliza el argumento de que no siempre se puede llegar a una solución única de localización en esta etapa del estudio con el método del análisis dimensional?
4. Elabore un plan de acción detallado para determinar la localización de una planta conservera de productos del mar. Indique qué variables estudiaría y qué metodología de análisis seguiría.
5. El problema locacional no existe cuando quien encarga el estudio del proyecto dispone de la infraestructura física para su implementación. Comente.
6. Para determinar la localización de cierta planta, se estudian tres alternativas, indicadas por las letras A, B y C. Se han definido cinco factores locacionales: costo del transporte de materia prima, costo del transporte del producto terminado, ventas esperadas, disponibilidades de mano de obra y disponibilidad de materias primas.

El costo del transporte que se obtuvo para cada alternativa es el siguiente:

	A	B	C
Materia prima	\$100 000	\$ 50 000	\$70 000
Producto terminado	<u>80 000</u>	<u>120 000</u>	<u>20 000</u>
TOTAL	\$180 000	\$170 000	\$90 000

Según información del estudio de mercados realizada, se pudo prever que las ventas estimadas serían \$1 200 000, \$900 000 y \$500 000, en A, B y C, respectivamente.

La disponibilidad esperada de materias primas y mano de obra se calculó según una puntuación relativa en una escala entre 1 y 10. Sus resultados fueron:

	A	B	C
Materias primas	6	6	8
Mano de obra	10	6	4

Los factores locacionales fueron priorizados de acuerdo con la siguiente puntuación, en una escala independiente de 1 a 10:

Transporte de materia prima	2
Transporte del producto terminado	2
Ventas esperadas	1
Disponibilidad de materias primas	6
Disponibilidad de mano de obra	7

### CASO: PAPA'S INTERNATIONAL

Durante las vacaciones de 1977, don Felipe Duarte, afamado hombre de negocios, se encontraba disfrutando de un breve descanso. Su carrera, centrada en el desarrollo de proyectos para el sector agrícola, había sido rápida y ascendente; vastamente conocido, su prestigio le había significado innumerables oportunidades de las cuales él sólo había obtenido triunfos. Amante del riesgo y de lo novedoso, se enfrenta hoy a la necesidad de decidir respecto a algo diferente: "Papa's International", una importante empresa transnacional dedicada a la industrialización de productos agrícolas, le había propuesto hacerse cargo de su filial en Chile. Dentro de la línea de productos industrializados por esta empresa, la papa era el más importante; de ellas se obtenía una amplia gama de productos de mayor duración, tales como harina, puré y "chips".

El Sr. Duarte había aceptado la oferta de Papa's International, lo que significaba la dirección de la implementación y puesta en marcha de una o varias plantas productoras de harinas de papas. El interrogante que necesitaba responder era dónde localizar esta(s) planta(s).

La experiencia acumulada y los conocimientos adquiridos por Felipe Duarte le permitían darse perfecta cuenta de la situación actual de la industrialización de la papa. Le era conocido el hecho de que, en nivel internacional, se había experimentado un crecimiento sostenido en este campo. Esto ocurría en los países desarrollados, pero no en Sudamérica. Por esta razón, un proyecto semejante parecía altamente beneficioso para la economía nacional. La existencia de una planta industrializadora de papas (productora de harina) permitiría regular la oferta y el precio del producto; con ello se estabilizarían los ingresos del sector agrícola. Además, se lograría disminuir el almacenamiento del producto fresco y se evitaría el transporte de agua (la papa posee un 80% de agua).

Considerando, además, que la papa es uno de los principales cultivos anuales del país (su aporte es de un 13%) y que las condiciones climáticas de Chile permiten su cultivo en todo el territorio, el proyecto parecía muy atractivo y todo un desafío.

Duarte tenía conocimiento que en Chile la siembra masiva se realiza entre las provincias de Coquimbo y Chiloé. En el resto del país se produce solamente para autoconsumo (lo que representa el 1% de la producción total) y el período de cosecha dura 3 meses, comenzando en noviembre en el norte chico (Atacama-Coquimbo), marzo en la zona central (Aconcagua-Talca) y abril en la zona sur (Malloco-Chiloé). En cada una de las diferentes provincias, un 35% de la producción total se destina a autoconsumo, semillas y desechos.

El producto obtenido en el proceso de industrialización, es decir, harina de papas, según estudios previos, puede emplearse en la elaboración de pan, reemplazando a la harina de trigo en un porcentaje máximo de 6%. Esta situación no afecta a las características físicas ni organolépticas del pan.

El mercado estimado comprende las zonas urbanas existentes entre Valparaíso y Aisén. En ellas, el consumo de harina de papas sería de 35.000 ton/año. Esto equivale a 240.000 ton de papa fresca (la conversión es de 6,8:1), cifra que es significativa, considerando que en los últimos 10 años la producción ha sido del orden de 700.000 ton.

En Chiloé se encuentran las zonas con mayor aptitud física para producir papas. En ellas se tienen los menores costos de producción en el nivel predial del país. Sin embargo, su distancia de los centros nacionales de consumo y la escasa industrialización de la zona

hacen que su producción sea significativamente menor que la potencial. La producción de las zonas de Coquimbo, Valparaíso, Santiago y Talca, debido a la posición geográfica, puede llegar a los centros de consumo con rapidez y a bajo costo.

Duarte ha logrado determinar que en esta zona se produce el 50% del total comercial. Para el resto del país posee la siguiente información:

a) La zona de Linares-Cautín tiene una producción equivalente al 16,6% del total, siendo el rendimiento de 78,5 qq/ha (el promedio nacional alcanza a 125,4 qq/ha).

b) De Valdivia a Llanquihue se produce el 32% del total comercial y su rendimiento es de 159 qq/ha. Chiloé, que aporta un 0,5% de la producción total, presenta problemas para un cultivo extensivo, debido a su geografía, y de transporte, por igual razón.

Un estudio anterior, hecho en función de rendimiento, superficie sembrada, producción actual y potencial por comuna, distancias y vías de acceso existentes, determinó 4 puntos posibles de localización: Castro, Coligual, Río Bueno y Purranque.

Con la asesoría de empresas de transporte que operan en la zona sur, se determinó un valor promedio por ton/km movilizadas en cualquier punto de dicha zona. Esto se hizo a pesar de saber que, en general, el costo de transporte no aumenta proporcionalmente a la distancia. El valor que se obtuvo es de US\$0,042 para camiones de 10 ton, que son los que mejor se adaptan a los caminos existentes.

Felipe Duarte sabía que el precio de la materia prima no experimenta variaciones significativas en la zona, y a través de una investigación personal obtuvo datos referentes al transporte del producto terminado. Al respecto, consideró un consumo anual estable, volúmenes de transportes elevados y el traslado en sacos. Ante esto, las alternativas de transporte variaban desde el uso de camiones propios hasta la utilización del ferrocarril o camiones con servicios contratados.

Basado en un estudio de costos de transporte, pudo concluir que éstos eran prácticamente iguales entre el ferrocarril y los camiones contratados. Si la distancia entre la planta y el mercado fuese menor de 1.000 km., el camión resultaba más conveniente económicamente. Considerando que entre Santiago y Valparaíso podría estar el 65% del consumo de harina de papas, obtuvo los siguientes resultados para transportar harina de papas entre Puerto Montt y Santiago:

MEDIO DE TRANSPORTE	COSTO POR TONELADA
Ferrocarril	US\$25.90
Camión propio	31.46
Camión contratado	26.76

Se eligió Puerto Montt como lugar de origen, por ser la zona que presentaba mayores posibilidades aparentes para localizar la planta.

Otra información obtenida por Duarte se muestra en los siguientes anexos.

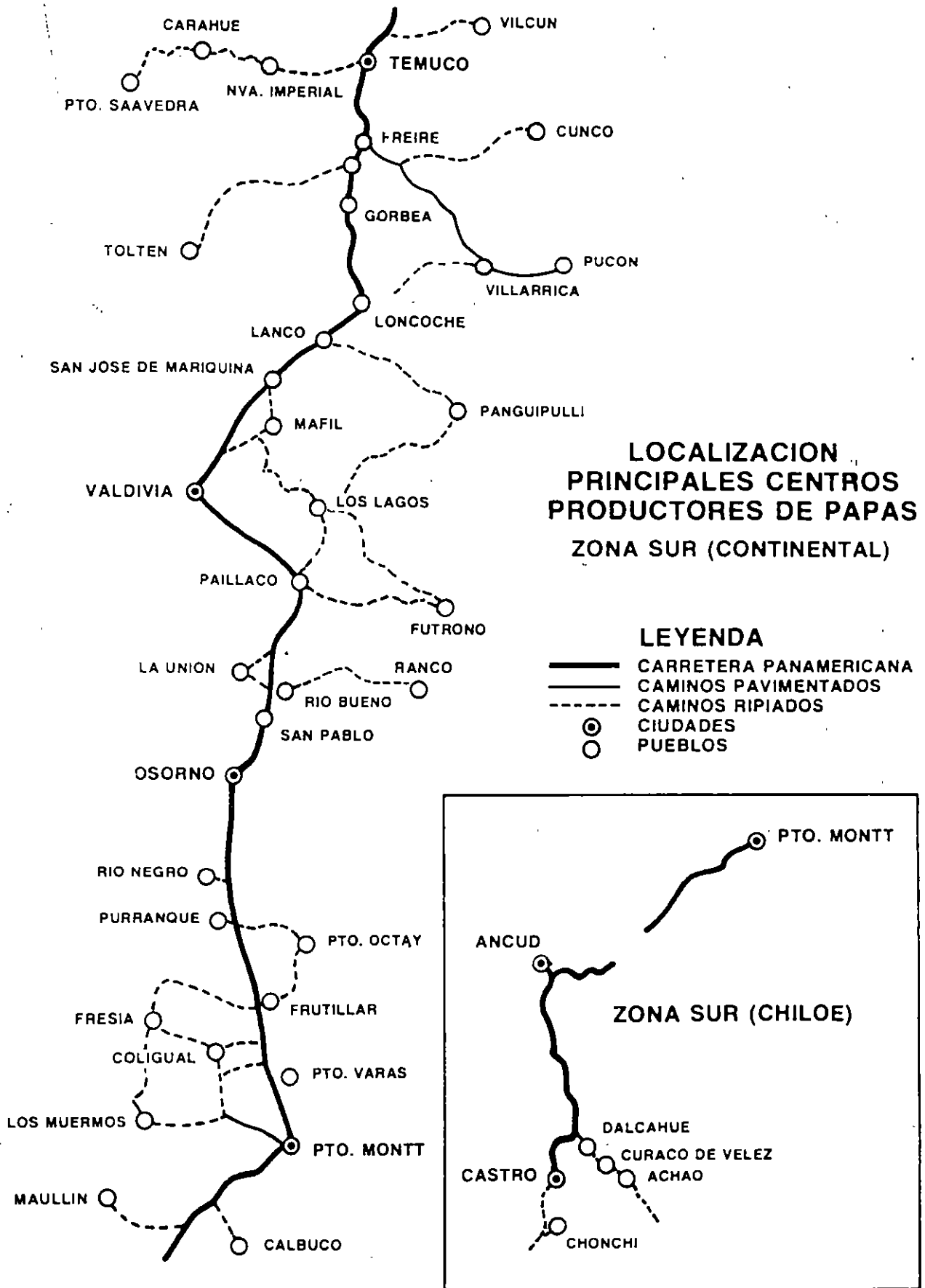
La localización de los principales centros productores de papas del país se diagrama en el anexo No. 1.

Las superficies sembradas y los rendimientos en el uso de los suelos para las principales provincias se muestran en el anexo No. 2. La información relativa a las superficies sembradas y rendimientos obtenidos en 1965 y a las superficies sembradas en 1976 se obtuvo en el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INE). Las proyecciones de superficies sembradas y rendimientos por hectárea se han obtenido a través de estudios realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), de encuestas a casos seleccionados realizadas por la Corporación de Fomento (CORFO), y la experiencia de asesores en estudios sobre capacidad de uso de suelos.

Ambas proyecciones se han considerado por la consecuencia que trae la posible instalación de una o varias plantas elaboradas de harina de papas, esto es, que los centros de

Anexo 1

Localización de principales centros productores de papas en zona sur



producción más cercanos tienden a buscar un mejor aprovechamiento de sus recursos, al mismo tiempo que aumentan las superficies sembradas para responder al incremento de la demanda.

Se presenta un cuadro de distancias promedio entre centros productores de papas optativos y zonas probables de localización en el anexo No. 3. Estas distancias han sido calculadas según vías de acceso, sobre la base de información proporcionada por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

## Anexo 2

Superficies sembradas y rendimiento por provincia

Provincia: Cautín

COMUNA	SUPERFICIE SEMBRADA (ha)			RENDIMIENTO (ton/ha)	
	1965	1976	POTENCIAL	1965	POTENCIAL
Lautaro	278.5	350.0	350.0	4.87	4.87
Perquenco	155.9	75.0	75.0	11.87	11.87
Galvarino	81.3	185.0	185.0	2.00	2.00
Nueva Imperial	767.6	1 255.0	1 255.0	2.86	2.86
Carahue	801.7	900.0	900.0	3.41	3.41
Saavedra	2 492.5	4 660.0	4 660.0	3.18	3.18
Temuco	1 132.3	1 530.0	1 530.0	3.75	3.75
Vilcún	271.4	265.0	265.0	5.68	5.68
Freire	718.1	2 240.0	2 240.0	4.85	4.85
Cunco	232.1	465.0	465.0	4.70	4.70
Pitrufquén	241.5	525.0	525.0	3.19	3.19
Gorbea	195.0	380.0	380.0	5.57	5.57
Toltén	962.4	1 790.0	1 790.0	5.16	5.16
Loncoche	644.2	470.0	470.0	4.47	4.47
Villarica	530.3	865.0	865.0	3.86	3.86
Pucón	668.8	595.0	595.0	2.45	2.45
<b>TOTAL PROVINCIA</b>	<b>10 177.0</b>	<b>16 520.0</b>	<b>16 520.0</b>	<b>3.93</b>	<b>3.93</b>

Provincia: Valdivia

COMUNA	SUPERFICIE SEMBRADA (ha)			RENDIMIENTO (ton/ha)	
	1965	1976	POTENCIAL	1965	POTENCIAL
Valdivia	589.0	463.4	1 346.0	6.41	7.50
San José de la Mariquina	465.2	677.6	5 104.0	7.29	9.00
Lanco	520.4	451.7	2 308.0	7.71	9.00
Los Lagos	521.5	479.5	4 205.0	9.63	15.00
Futrono	373.9	706.6	1 667.0	8.99	15.00
Corral	89.4	115.3	103.0	5.39	6.00
Máfil	244.0	186.3	(a)	7.78	9.00
Panguipulli	1 132.6	2 090.6	2 270.0	4.71	8.00
La Unión	727.9	869.9	6 357.0	8.75	16.00
Paillaco	689.7	475.8	3 804.0	9.56	15.00
Río Bueno	1 260.8	1 050.6	12 607.0	10.01	16.00
Lago Ranco	585.8	737.5	1 844.0	7.98	15.00
<b>TOTAL PROVINCIA</b>	<b>7 200.20</b>	<b>8 304.6</b>	<b>41 615.0</b>	<b>8.01</b>	<b>13.74</b>

(a) Incluidas en San José de la Mariquina.

Provincia: Osorno

COMUNA	SUPERFICIE SEMBRADA (ha)			RENDIMIENTO (ton/ha)	
	1965	1976	POTENCIAL	1965	POTENCIAL
Osorno	1 956.7	2 803.0	14 371.0	6.79	12.00
San Pablo	312.2	314.0	4 616.0	7.92	12.00
Puerto Octay	530.5	540.4	6 925.0	11.24	20.00
Río Negro	602.7	351.6	6 793.0	9.92	12.00
Purranque	493.3	468.3	6 997.0	12.71	22.00
<b>TOTAL PROVINCIA</b>	<b>3 895.4</b>	<b>3 757.3</b>	<b>39 702.0</b>	<b>8.72</b>	<b>15.16</b>

Provincia: Llanquihue

COMUNA	SUPERFICIE SEMBRADA (ha)			RENDIMIENTO (ton/ha)	
	1965	1976	POTENCIAL	1965	POTENCIAL
Puerto Varas	1 771.0	822.9	6 998.0	19.63	25.00
Fresia	822.6	927.7	4 659.0	14.62	23.00
Frutillar	881.3	581.5	5 572.0	19.06	25.00
Mauñin	835.2	991.4	3 354.0	9.25	11.00
Los Muermos	775.4	1 002.8	3 294.0	13.24	23.00
Puerto Montt	1 526.4	1 237.2	1 878.0	6.12	9.00
Cochamó	295.3	305.5	886.0	4.88	6.00
Calbuco	1 262.6	1 282.2	24.0	6.91	9.00
<b>TOTAL PROVINCIA</b>	<b>8 169.8</b>	<b>7 151.2</b>	<b>26 665.0</b>	<b>12.37</b>	<b>20.87</b>

Provincia: Chiloé

COMUNA	SUPERFICIE SEMBRADA (ha)			RENDIMIENTO (ton/ha)	
	1965	1976	POTENCIAL	1965	POTENCIAL
Dalcahue	710.2	654.0	1 015.0	6.43	20.00
Castro	1 381.7	1 111.0	704.0	7.98	16.00
Chonchi	995.1	853.5	853.0*	10.01	20.00
Achao	1 609.0	1 249.0	315.0	5.52	18.00
Curaco de Vélez	456.4	428.8	484.0	7.63	20.00
<b>TOTAL PROVINCIA*</b>	<b>5 152.4</b>	<b>4 296.3</b>	<b>3 371.0**</b>	<b>7.36</b>	<b>18.94</b>

\*Debido a que IREN-CORFO no ha realizado aún el estudio de clasificación de capacidad de uso de los suelos para la comuna de Chonchi, hubo que suponer el uso actual igual al potencial.

\*\*Disminuye la superficie potencial porque en la actualidad se está haciendo uso de suelos no aptos para cultivo de papas.

**Anexo 3**

Distancia promedio entre centros productores de papas y zonas probables de localización

COMUNA	ZONAS PROBABLES DE LOCALIZACION			
	RIO BUENO (km)	PURRANQUE (km)	CASTRO (km)	COLIGUAL (km)
Lautaro				
Perquenco				
Galvarino				
Nueva Imperial				
Carahue				
Saavedra				
Temuco				
Vilcún				
Freire				
Cunco				
Pitrufquén				
Gorbea				
Toltén				
Loncoche	186			
Villarica				
Pucón				
Valdivia	136	223		
San José de la Mariquina	146	232		
Lanco	169			
Los Lagos	87	173		
Futrono	105	191		
Corral				
Máfil	126	212		
Panguipulli	147	233		
La Unión	17	103		154
Paillaco	54	140		191
Río Bueno	10	86		137
Lago Ranco	60	146		
Osorno	34	52		103
San Pablo	20	66		117
Puerto Octay	108	22		56
Río Negro	66	20		71
Purranque	86	10		51
Puerto Varas	139	53		32
Fresia	164	78		23
Frutillar	111	25		26
Mauñín		144		116
Los Muermos	203	117		46
Puerto Montt	159	73		45
Cochamó				
Calbuco		127		99
Dalcahue			28	
Castro			10	
Chonchi			21	
Achao			44	
Curaco de Vélez			33	



## BIBLIOGRAFIA

- BROWN, P.A. y GIBSON, D.F. "A Quantified Model for Facility Site Selection Application to a Multiplant Location Problem", *AIIE Transactions* 4 (1), 1972.
- BUFFA, Elwood. *Administración técnica de la producción*. México: Limusa-Wiley, 1982.
- DERVITSIOTIS, Kostas N. *Operations Management*. N. York: McGraw-Hill, 1981.
- DUNCAN, D.J. y otros. *Venta minorista*. Buenos Aires: El Ateneo, 1972.
- ESCOBAR, Juan. "Localización industrial", *Temas administrativos* No. 16, 1970.
- HOOVER, Edgar M. *Localización de la actividad económica*. McGraw-Hill, 1951.
- ILPES. *Guía para la presentación de proyectos*. Santiago: Siglo Veintiuno-Editorial Universitaria, 1977.
- MOORE, Franklin G. *Manufacturing Management*. Homewood, Ill.: Richard D. Irwin, 1961.
- MUNIER, Nolberto. *Preparación técnica, evaluación económica y presentación de proyectos*. Buenos Aires: ASTREA, 1979.
- MUTHER, Richard. *Planificación y proyección de la empresa industrial*. Editores Técnicos Asociados, 1968.
- REED, Rudell. *Plant Layout; Factors, Principles and Techniques*. Homewood, Ill. Richard D. Irwin, 1961.
- . *Localización, layout y mantenimiento de planta*. Buenos Aires: El Ateneo, 1976.
- SOLANA, Ricardo. "Metodología para las decisiones de localización de plantas industriales", *Revista de ciencias económicas*, serie V, No. 8, 1970, p. 251-274.
- TANZER, Pablo. "Localización de plantas industriales: tema de alta política empresarial", *Administración de empresas* (116): 715-722, 1979.
- WILD, Ray. *The Techniques of Production Management*. N. York: Holt, Rinehart and Winston, 1971.

## REPRODUCIDO DE:

GABRIELLI, ADOLFO, EVALUACION  
PRIVADA DE PROYECTOS (LA PAZ, 1990)

## IV.4) OPTIMIZACION DE PROYECTOS

Hasta el momento hemos trabajado desde la perspectiva de que si un proyecto presenta un indicador de rentabilidad positivo (por ej.  $VAN > 0$ ), dicho proyecto es bueno y debería realizarse. La excepción a lo anterior era el caso en que existían restricciones adicionales, como la limitación de fondos de inversión, en cuyo caso solo debían realizarse los "mejores".

El concepto que vamos a analizar ahora es el que nos señala que no es suficiente que un proyecto sea "bueno" o el "mejor", sino que también es necesario que éste se realice de la manera "mas conveniente".

Lo anterior también puede expresarse como que no es suficiente asegurarse que un proyecto sea rentable, sino que debemos verificar que éste sea el óptimo. En otras palabras, que todo un set de características del proyecto (tamaño, momento de inicio, localización, etc.) sean tales que el aumento en riqueza que obtengamos de la realización del proyecto sea el máximo posible. Todo esto se denomina análisis de optimización de proyectos.

Dicho análisis de optimización es un tema bastante extenso y de un alto grado de complejidad, por lo tanto, a continuación, sólo vamos a realizar una aproximación al mismo.

IV 4.1) Momento Óptimo de Inicio

El momento óptimo de inicio de un proyecto se define como aquel para el cual el VAN del proyecto es máximo

Una aproximación intuitiva al punto se puede hacer, sobre la base del siguiente razonamiento. el atrasar el inicio de un proyecto puede provocar costos y beneficios, por lo cual el momento óptimo de inicio será aquel para el cual los beneficios de postergarlo sean menores que los costos de hacerlo

IV 4.1.1) Caso de la "Regla Miopa"

Este es el caso de análisis de momento óptimo más simple y, además, el más conocido

• Su aplicación se da en el caso en que el proyecto que se está analizando reúna las siguientes características

- la inversión es constante en el tiempo

- los beneficios del proyecto son crecientes en el tiempo y, para cada año, son independientes del momento de inicio del proyecto

- la tasa de descuento es constante en el tiempo

- la vida útil del proyecto es infinita.

Supongamos que, en presencia de un proyecto que posea las características antes mencionadas, deseamos analizar la conveniencia de iniciarlo hoy o postergarlo por un año. En cada caso, el VAN del proyecto será

$$\begin{array}{l} \text{Periodo} \quad 0 \quad 1 \quad 2 \quad \dots \quad \infty \\ \text{VAN}(0) = \quad 1 \quad + \frac{F1}{(1+r)^1} + \frac{F2}{(1+r)^2} + \dots \\ \text{VAN}(1)^9 = \quad 0 \quad \frac{1}{(1+r)^1} + \frac{F2}{(1+r)^2} + \dots \end{array}$$

siendo todos los flujos posteriores al periodo dos ( $3-\infty$ ), equivalentes también

La postergación sería conveniente si el VAN del proyecto aumentara por ello, dado lo cual el criterio a utilizar en la decisión será el signo que presente la diferencia de los VAN a obtener en cada momento de inicio. Dicha diferencia ( $\Delta VAN$ ) será definida como  $VAN(1) - VAN(0)$  y la regla de decisión será

- Si  $VAN(0) < VAN(1) \Rightarrow \Delta VAN > 0 \Rightarrow$  es conveniente postergar
- Si  $VAN(0) > VAN(1) \Rightarrow \Delta VAN < 0 \Rightarrow$  no es conveniente postergar
- Si  $VAN(0) = VAN(1) \Rightarrow \Delta VAN = 0 \Rightarrow$  es indiferente postergar

Este  $\Delta VAN$  será igual a.

$$\Delta VAN = 1 - \frac{F1}{(1+r)^1} + \frac{1}{(1+r)^1}$$

la interpretación de la fórmula obtenida es que, el cambio en el VAN del proyecto, es igual al costo de postergar (flujos que se dejan de percibir por el atraso,  $F1$  en este caso), mas el beneficio de postergar (diferencia neta entre ahorrarse el desembolso de la inversión en el periodo actual y tener que hacerlo, en el próximo)

De acuerdo a la regla enunciada, el punto de indiferencia se alcanza cuando dicho  $\Delta VAN$  es igual a cero, lo cual puede escribirse como

<sup>9</sup>Se debe considerar que 1) como consecuencia del supuesto de que los beneficios de cada año no dependen del momento de inicio, los flujos del periodo 2 en adelante son idénticos en cada caso, 2) la inversión inicial (1) se halla definida en términos negativos

$$\Delta VAN = -\Delta I + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{\Delta Ft}{(1+r^{**})^t} = 0$$

Dado lo anterior, se podría enunciar como criterio de selección que: el tamaño óptimo de un proyecto es aquel para el cual su TMIR es igual a la tasa de descuento<sup>14</sup>. Esto es, en la medida que la TMIR de los flujos incrementales de la ampliación de un proyecto sean mayores que la tasa de descuento, dicha ampliación será conveniente ( $\Delta VAN > 0$ ). Si la TMIR es igual a la tasa de descuento, estaremos indiferentes ( $\Delta VAN = 0$ ) y si es menor que la tasa de descuento, el aumento de escala no será recomendable ( $\Delta VAN < 0$ ). En resumen, es conveniente ampliar el tamaño del proyecto, en la medida que la rentabilidad de éstos, en el proyecto (TMIR), sea superior a la mejor alternativa disponible ( $r$ ).

Veamos su aplicación, a través de un ejemplo. Supongamos el caso de una persona que está decidida a plantar trigo en su campo, pero tiene dudas sobre cual es la cantidad óptima de has a colocar ( $n$ ). La inversión necesaria por ha es de \$200, lo cual limita el tamaño máximo de la plantación a 7 has. La alternativa, para los fondos que utiliza en la plantación, es colocarlos en bonos al 15%. En el cuadro IV.12 se presenta la siguiente información para cada uno de los tamaños posibles: inversión total ( $I_n$ ), flujo neto de caja ( $F_n$ ), TIR, inversión incremental ( $\Delta I_n$ ), flujos de caja incrementales ( $\Delta F_n$ ), TMIR y VAN.

Cuadro IV.12

( $I_n$ )	$F_n$	TIR	$\Delta I_n$	$\Delta F_n$	TMIR	VAN
200	240	20,0	-	-	-	8,7
400	500	25,0	200	260	30,0	34,8
600	780	30,0	200	280	40,0	78,3
800	1030	28,8	200	250	25,0	95,6
1000	1270	27,0	200	240	20,0	104,3
1200	1500	25,0	200	230	15,0	104,3
1400	1720	22,9	200	220	10,0	95,6

De los datos del cuadro se desprende que, si el objetivo del agricultor es maximizar su riqueza, las alternativas más convenientes son, indistintamente, el plantar 5 ó 6 has de trigo, debido a que poseen el mayor VAN.

Si aplicamos el criterio de la TMIR, llegaremos a la misma decisión. En el rango de 1 a 5 has. (\$200-\$1000), dicho criterio nos diría que la ampliación es conveniente (TMIR > 15%) y, para el caso de 5 a 6 has, nos indicaría que éste es indiferente ( $\Delta VAN = 0$ ), debido a que TMIR = 15%. Por último, el pasar de 6 a 7 has sería no recomendable, dado que TMIR < 15%.

<sup>14</sup>Recuérdese que este criterio es el mismo que se definió para la TIR.

$$\Delta VAN = \frac{-I + I(1+r) - FI}{(1+r)} = \frac{Ir - FI}{(1+r)} = 0$$

para que la expresión anterior se iguale a cero, se debe cumplir que:<sup>10</sup>

$$Ir = FI$$

La condición anterior es lo que se define como "regla miope", adjetivo proveniente de que para la decisión sólo se considera el flujo del primer año del proyecto. Esta puede enunciarse como: el momento óptimo de inicio de un proyecto es aquel para el cual los beneficios del primer año son iguales al costo de capital del proyecto ( $Ir$ ).

Si bien el listado de supuestos anteriores pudiera dar la impresión de que la posibilidad de aplicación de esta regla es muy restringida, en la práctica no es así. Sería casi imposible encontrar un proyecto que en realidad cumpliera "exactamente" con dichos supuestos (especialmente el de vida infinita y no dependencia de los beneficios con el año de inicio). Pero si existen situaciones que se acercan lo suficiente para que éste pueda ser aplicado.

Los casos más comunes de esta aplicación son ciertos proyectos de obras públicas (carreteras, plantas de abastecimiento de agua potable, etc.), las cuales presentan las siguientes características comunes:

- Una vida útil de la inversión bastante amplia (por ej., 20 años o más)
- Los beneficios de cada año dependen, principalmente, de variables distintas al año de inicio del proyecto (por ejemplo de la población, el parque automotriz, etc.)
- Se puede esperar que la inversión se mantenga, relativamente estable, en términos reales en el tiempo, debido a que son áreas donde la innovación tecnológica no es muy rápida.

#### IV.4.1.2) Otros casos

Para aquellas situaciones en las cuales las características del proyecto hacen que no sea recomendable la aplicación de la regla miope, se pueden, también, derivar criterios similares de decisión. Así, la base conceptual de la sección anterior (ir calculando los  $\Delta VAN$  para llegar al momento óptimo de inicio), sigue siendo totalmente válida.

Dada la extensión del tema, no se van a realizar análisis adicionales sobre el mismo en este texto, contentándonos con la entrega de los conceptos básicos, ya realizados.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Dado los supuestos de inversión y tasa de descuento constantes, esta regla es válida para cualquier período o plazo de prórroga del proyecto, con la salvedad de que  $FI$  se reemplaza por  $FI$ .

<sup>11</sup> Un más detallado análisis del tema se puede consultar en E. Fontaine, op. cit.

#### IV.4.2) Tamaño Óptimo

Una segunda característica importante de optimizar es el tamaño del proyecto de inversión. Esto es, la respuesta a las preguntas: ¿cuántas hectáreas de trigo plantar?, ¿de qué capacidad de producción/hora diseñar la planta?, etc.

En este caso, sigue siendo válido el criterio utilizado para el momento de inicio, es decir el tamaño óptimo de un proyecto es aquel que maximiza el VAN del mismo. Por ello, aquí también podemos definir un  $\Delta VAN$  y afirmar que el tamaño óptimo se alcanza en el punto en que éste es igual o menor que cero.

La ampliación del tamaño de un proyecto puede producir efectos, tanto sobre la inversión, como sobre los costos de operación y sobre los ingresos del mismo. Todos estos efectos podrían resumirse en que, para los casos relevantes de considerar, los resultados de dicha ampliación, serían un aumento en los costos de inversión (costos de la ampliación) y en los flujos netos de caja del mismo (beneficios de la ampliación).<sup>12</sup> Dado esto, el  $\Delta VAN$  de un aumento en tamaño podría escribirse como:

$$\Delta VAN = -\Delta I + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{\Delta Ft}{(1+r)^t}$$

donde

$\Delta I$  = aumento en el costo de inversión del proyecto

$\Delta Ft$  = aumento en el flujo neto de caja del período  $t$ .

Para cumplir la condición de indiferencia ( $\Delta VAN=0$ ), se debe dar que:

$$-\Delta I = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{\Delta Ft}{(1+r)^t}$$

Llegado a este punto, estamos en condiciones de definir la llamada Tasa Marginal Interna de Retorno (TMIR), por la cual se entiende a aquella tasa de descuento que hace que el valor presente de los flujos diferenciales de una ampliación se iguale al cambio en la inversión. En otras palabras, esto es la TIR de los flujos incrementales de la ampliación de la escala del proyecto.<sup>13</sup> Dicha TMIR ( $r^{**}$ ) será, entonces, aquella para la cual se cumpla lo siguiente:

<sup>12</sup> En este análisis estamos dejando de lado aquellos casos irrelevantes, como por ejemplo una ampliación que aumente los costos de inversión y reduzca además los flujos netos de caja, ya que no tendría sentido la consideración de las mismas.

<sup>13</sup> Este concepto de TMIR es en realidad idéntico al de la TIRI definida en el capítulo III, pero se ha mantenido la diferencia de nomenclatura para evitar confusiones, debido a que esta existe en los textos recomendados.

V.1) INTRODUCCION

Hasta el momento hemos trabajado bajo el supuesto de que disponíamos de información perfecta sobre el nivel de los flujos futuros de caja del proyecto, sin embargo, en la práctica las cosas no suceden siempre así

Existen una serie importante de factores que no nos permiten predecir, con exactitud, los valores que adoptarán a futuro el total de las variables implícitas en un proyecto. Dentro de estos factores se encuentra la economía en general, factores económicos peculiares de cada inversión, el desarrollo tecnológico, los gustos cambiantes de los consumidores, etc. Todo esto hace que los ingresos, costos y vida útil de una inversión no puedan ser conocidos siempre con certeza

Lo anterior da origen al problema de la existencia de riesgo, en la evaluación de proyectos de inversión. Dicho riesgo, desde el punto de vista de un proyecto, puede definirse como la variabilidad de sus posibles rendimientos (VAN, TIR, etc.) Mientras mayor sea esta variabilidad, mayor será el riesgo asociado y viceversa

Los casos que pueden presentarse son de dos tipos: riesgo e incertidumbre. La diferencia entre riesgo e incertidumbre es que el primero se refiere a situaciones en que se conoce la probabilidad de que ocurra un evento en particular, mientras que, con incertidumbre, dicha probabilidad no se conoce. Los problemas que vamos a analizar en este capítulo se refieren, básicamente, a los relacionados con riesgo, aunque frecuentemente emplearemos ambas palabras como sinónimos.

Frente a este problema, una alternativa posible es la utilizada hasta este momento, en el desarrollo del texto, la cual se denomina evaluación determinística de proyectos

Esta consiste en conseguir, dentro del límite de las restricciones de tiempo, presupuesto, etc., la mayor cantidad de información posible sobre la evolución futura de las variables del proyecto. Posteriormente y, sobre la base de dicha información, se determina el valor más probable para cada variable, en cada uno de los años de vida útil del proyecto. Por último, se procede a la evaluación, utilizando los valores definidos en la etapa anterior.

Esta metodología de evaluación presenta una serie de inconvenientes, convirtiéndola en poco recomendable, para situaciones en que existe un grado de riesgo, que podríamos calificar de "importante". Algunas de las principales objeciones son:

- no necesariamente la variable va a tener un solo valor más probable; podría llegar a darse el caso límite de que todos tuvieran la misma probabilidad de ocurrencia
- aun de existir un único valor más probable, en muchos casos es muy difícil poder estimarlo con un grado de exactitud adecuado

- aun de poder estimarse correctamente dicho valor, esto no implica que sea el que va a adoptar la variable en cuestión.

Podríamos decir entonces, que el resultado obtenido de la aplicación de dicho método podría calificarse sólo como una "conjetura educada", sobre el verdadero resultado final del proyecto de inversión.

Este problema ha motivado el desarrollo de una variedad de métodos, tendientes a incorporar y, en algunos casos, a medir el riesgo asociado a un determinado proyecto, algunos de los cuales serán analizados en este capítulo.

En esta parte, es vital tener en claro dos aspectos. El primero de ellos es que el riesgo de un proyecto *no puede ser eliminado* por la utilización de estos métodos, ya que ellos sólo sirven para explicitarlo, en cierta medida, e incorporarlo a nuestra decisión. En segundo lugar, los métodos conocidos distan de ser perfectos, aunque permiten visualizar, en términos generales, la dimensión del riesgo. Tal dimensión no puede ser ignorada en el curso de la evaluación de proyectos, sólo porque sea difícil medirla, pues tiene una influencia demasiado importante sobre el resultado final, que se obtenga en el proceso de inversión.

V.2) METODOS QUE NO CONSIDERAN PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

En esta sección se procederá a analizar la utilización de una serie de métodos, diseñados para enfrentar el problema del riesgo en proyectos

Los dos primeros métodos, el análisis de sensibilidad y el de escenarios, incorporan el resultado del proyecto distintos valores de las variables claves, pero no asignan ningún tipo de probabilidad de ocurrencia a cada uno de dichos resultados.

El tercero de ellos, el análisis de punto de equilibrio, es una forma totalmente distinta de enfocar el problema. Esta consiste en obtener una medida del punto en que se encuentra el "umbral de rentabilidad" del proyecto. En otros términos, el nivel de operación mínimo necesario para que el proyecto sea conveniente. El tratamiento dado a éste es el más extenso de la sección, debido a que, correctamente utilizado, constituye una importante herramienta de manejo, tanto en la evaluación de un proyecto, como en el futuro desarrollo del mismo.

V.2.1) Análisis de Sensibilidad

Este consiste en determinar el efecto que producen los cambios en los valores de los parámetros, estimados para el proyecto, sobre su rentabilidad (VAN, TIR, etc.).

Este método se caracteriza porque no se asigna ningún tipo de probabilidad al rango de valores estimados y porque sólo se hacen cambios en una variable por vez.

Para ejemplificarlo, supongamos el caso de una persona que está evaluando el proyecto de alquilar una parcela y plantar trigo. Ella conoce con exactitud todos los costos del proyecto, pero posee incertidumbre sobre el valor real de la cosecha a obtener, lo cual depende básicamente del nivel de precipitaciones que habrá en la temporada. Dado esto, la alternativa por la que ha optado es evaluar su proyecto considerando el volumen de producción que obtendría en un año "normal" (el promedio de lluvia de los últimos años), lo que arroja un VAN de \$ 30.

Vemos entonces que el proyecto posee un cierto nivel de riesgo, asociado a los distintos niveles de cosecha (rentabilidad) que va a obtener la persona en caso de ponerlo en práctica. Dicho riesgo se genera por el desconocimiento del nivel exacto de lluvia de la temporada. Una manera de aplicar el análisis de sensibilidad, en este caso, sería estimar un rango de volúmenes de cosecha, factibles de obtener. Esto podría hacerse, por ejemplo, determinando el volumen de éstas, en relación a los niveles de lluvia, registrados durante los últimos cinco años.

En el cuadro siguiente se detallan los VAN del proyecto de plantar trigo, de acuerdo con el nivel de cosecha que se habría obtenido según los niveles de lluvia de cada año.

Cuadro V.1

Año	VAN
1989	35
1988	38
1987	43
1986	-5
1985	39

De lo cual surge que, si bien el proyecto es "en promedio" rentable, un nivel de precipitaciones como el del año 1986 haría incurrir en una pérdida.

La anterior no es la única manera de realizar el análisis de sensibilidad. Algunas formas alternativas, usadas comúnmente, son:

- Definir tres tipos de escenarios: optimista, esperado y pesimista y calcular la rentabilidad para cada uno de ellos.
- Determinar el nivel crítico de la variable, que convierte al proyecto en no rentable. Esto, aplicado al ejemplo anterior, sería encontrar el nivel de lluvia que convierte al VAN en negativo<sup>1</sup>.

Podemos definir a este análisis como una manera de obtener más datos sobre los probables resultados del proyecto, lo cual es un avance importante con respecto a la evaluación determinística. Esta información se refiere tanto a que puede estar "escondiendo" el valor promedio o estimado con que se trabaja en el caso determinístico, como al impacto que provoca el cambio de ciertas variables, sobre la rentabilidad del proyecto (denominada "sensibilidad" del proyecto a dicha variable).

No obstante lo anterior, el análisis de sensibilidad posee fuertes limitaciones, siendo la más evidente la correcta definición de los rangos "factibles" de la variable a analizar.

Otro problema del análisis de sensibilidad y, posiblemente, el más importante, es la fuerte correlación que existe por lo general, entre ciertas variables del proyecto

<sup>1</sup>Una aplicación más sofisticada de esto es el Análisis de Punto de Equilibrio, el cual se tratará en este mismo capítulo.

Por ejemplo, en el caso de la plantación de trigo, es claro que el nivel de lluvia, al incidir sobre el nivel de producción, también estará afectando los precios de venta de la misma y, posiblemente, a otras variables importantes, como por ejemplo el costo de recolección de la cosecha.

Este problema puede ser, algunas veces, superado a través de una redefinición de las variables para que, en términos globales, sean independientes. Pero, con frecuencia, no se puede ir muy lejos con un análisis de sensibilidad como el que hemos explicado en este punto.

### Y 2.2) Análisis de Escenarios

Una manera de solucionar el problema de correlación de variables, descrito en el punto anterior, es el análisis de escenarios.

Este consiste en definir un set de situaciones posibles (escenarios), que consisten en combinaciones alternativas y coherentes de las variables más importantes del proyecto.

La forma más común de realizar este tipo de análisis es, a través de la definición de tres escenarios: uno pesimista, uno promedio ("normal") y uno optimista.

Aplicemos esto al ejemplo desarrollado en el punto anterior. Supongamos que, del estudio realizado sobre los años anteriores, surge una correlación positiva del nivel de precipitaciones con los volúmenes de cosecha y costos de recolección, y negativa con el precio del trigo.

Sobre la base de lo anterior, se construyeron los siguientes escenarios con los valores actualizados del año 86 (pesimista), 87 (optimista) y con el promedio del período.

Cuadro Y 2

Escenario	Lluvia (mm)	C. Rec (\$/ton)	P Venta (\$/ton)	VAN (\$)
Optimista	200	25	210	34
Promedio	130	23	245	30
Pesimista	70	17	280	4

Vemos que los resultados obtenidos difieren de las conclusiones alcanzadas, a través del análisis de sensibilidad. La razón de esto es que en él se trabajó con los niveles de lluvia de cada año, manteniendo estables los costos de recolección y precio de venta, lo cual es incorrecto, según las estadísticas disponibles sobre el sector.

### Y 2.3) Análisis de Punto de Equilibrio

Cuando realizamos el análisis de sensibilidad de un proyecto o cuando miramos escenarios alternativos, no hacemos otra cosa que plantearnos hasta qué punto sería grave que las ventas o los costos resultaran peores que los previstos. Una manera alternativa de plantear esta inquietud, lo cual se encuentra muy difundida en la práctica, es preguntarse hasta qué nivel pueden caer las ventas, antes de que el

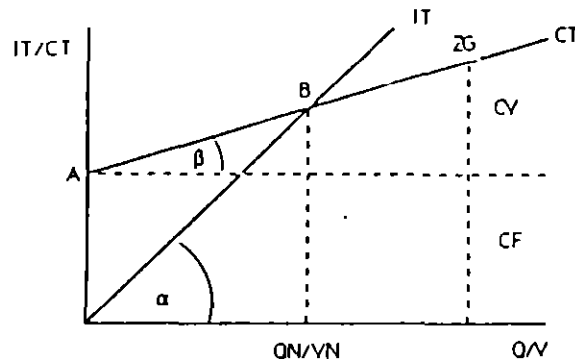
proyecto comience a provocar pérdidas. Esto se conoce como análisis de punto de equilibrio o, indistintamente, como análisis de punto muerto.

Todo proyecto posee tres aspectos que son críticos: costo de producción, precio de venta y volumen de ventas. En cada caso particular, el nivel de incertidumbre sobre cada uno de ellos será variable, pero lo normal es que los mayores grados de ésta se tengan sobre el nivel real de ventas de la empresa. Este es el fundamento principal del difundido uso del análisis de punto de equilibrio.

En la figura N° V.1 se muestra la gráfica básica de la determinación de este punto de equilibrio. En el eje horizontal se han representado los niveles de producción (Q) y ventas (V) y, en el vertical, el volumen de ingresos por ventas y costos totales. La recta IT representa los ingresos totales por venta, siendo su inclinación (tangente del ángulo  $\alpha$ ) el precio unitario de venta. La recta CT representa los costos totales de producción y ventas. Esta corta al eje vertical en el punto A, que representa el volumen total de costos fijos de la empresa. A partir de ese punto, su inclinación está dada por el costo variable unitario de producción y ventas (tangente ángulo  $\beta$ ).

En el punto B se produce la igualación de costos e ingresos totales, determinándose allí los volúmenes de venta de equilibrio en unidades ( $Q_N$ ) y valores ( $V_N$ ). Para cantidades de producción y venta inferiores a las de equilibrio, la empresa tendrá pérdidas en sus operaciones, las cuales serán iguales a la diferencia entre IT y CT y, por lo tanto, para cantidades superiores a las de equilibrio, la empresa obtendrá utilidades iguales a esta diferencia. Esto nos permite visualizar las zonas de ganancia de la empresa ( $Z_G$ ) y de pérdida ( $Z_p$ ), las cuales se ubican a la derecha e izquierda del punto B, respectivamente.

Gráfico N° V.1.  
Punto de Equilibrio Gráfico



### V.2.3.1) Caso Simplificado

#### V.2.3.1.1) Empresas monoproductoras

El método seguido para la determinación de este punto es el llamado "enfoque de contribución". Dicho procedimiento, en su versión más sencilla, trabaja con los siguientes supuestos<sup>2</sup>:

- La empresa produce y vende un único producto, de especificaciones técnicas conocidas e invariables, para el periodo analizado
- El precio de venta es conocido y se mantendrá inalterado, durante el periodo considerado. Es decir, el precio será igual al ingreso medio y al ingreso marginal
- La estructura de costos es conocida y se pueden distinguir a) los costos fijos totales, b) los costos variables unitarios de producción y c) los costos variables unitarios de comercialización<sup>3</sup>.
- Los costos variables totales de producir la cantidad vendida son proporcionales al volumen físico de ventas, es decir, que el costo variable de producir cada unidad permanece invariable dentro del rango de variabilidad volumen, que admite una cierta estructura de la empresa.
- No existen impuestos a las utilidades de las empresas.

Sobre la base de estos supuestos, se puede realizar la siguiente derivación algebraica del punto de nivelación de la empresa.

Si al precio de una unidad de producto ( $p$ ) le deducimos el costo variable de producir y vender ( $cv$ ), obtenemos la aptitud potencial de que está dotada dicha unidad de producto, para contribuir a los resultados de la empresa. A dicha aptitud potencial se la denomina margen de contribución unitaria ( $mc$ ). Es decir:

$$mc = p - cv$$

La suma del margen de contribución unitaria de todos los productos vendidos ( $Q$ ) es el margen de contribución total ( $MC$ ), el cual se define como la aptitud real que tienen dicho nivel de ventas, para cubrir los costos fijos de la empresa ( $C_f$ ) y, si existe un excedente, para generar resultados positivos. O sea:

<sup>2</sup>Es importante tener claro que el no cumplimiento de alguno de los siguientes supuestos no impide la aplicación de este análisis, solo lo hace más complejo.

<sup>3</sup>No es imprescindible que todos los ítems de costo puedan ser encasillados en una de estas categorías. Si, por ejemplo, nos enfrentamos al caso de un costo semi-fijo, es suficiente con separar sus componentes fijo y variable e incluirlos en cada una de dichas categorías.

$$MC = mc \cdot Q$$

$$MC = (p - cv) \cdot Q$$

Sobre la base de lo anterior se puede deducir la expresión algebraica de la función de resultado operativo ( $R_0$ ), es decir, aquel que proviene de las actividades normales de la empresa

Si designamos con  $Y$  al volumen monetario de las ventas, al total de costos variables como  $C_v$  y al costo total de producción y ventas como  $C_t$ , tenemos:

$$R_0 = Y - C_t$$

donde  $C_t = C_v + C_f$

luego:  $R_0 = Y - (C_v + C_f)$

dado que  $Y = p \cdot Q$

$$C_v = cv \cdot Q$$

obtenemos:  $R_0 = p \cdot Q - cv \cdot Q - C_f$

$$R_0 = [(p - cv) \cdot Q] - C_f$$

$$R_0 = mc \cdot Q - C_f \quad (5.1)$$

$$R_0 = MC - C_f \quad (5.2)$$

El desarrollo efectuado es función del volumen físico de ventas ( $Q$ ), pero también puede realizarse, sobre la base de los volúmenes monetarios de venta ( $Y$ ). En este caso, es necesario definir dos conceptos:

a) Razón de recuperación ( $rr$ ): es la fracción de cada peso de ventas destinada a recuperar los costos variables de producir y vender, o sea:

$$rr = \frac{cv}{p}$$

b) Razón de contribución: fracción de cada peso de ventas, destinado a cubrir los costos constantes de la empresa y, una vez cubiertos, a generar resultados positivos, o sea:

$$rc = 1 - \frac{cv}{p}$$

$$rc = \frac{p - cv}{p}$$

$$rc = \frac{mc}{p}$$

Si sumamos ambas razones, obtenemos que

$$rr + rc = \frac{cv}{p} + \frac{mc}{p}$$

$$rr + rc = \frac{cv}{p} + \frac{p - cv}{p} = 1$$

La función de resultado operativo, en este caso es

$$R_0 = MC - C_f$$

dado que:  $MC = mc \cdot Q$

y que:  $rc = \frac{mc}{p}$

tenemos que  $MC = rc \cdot p \cdot Q$

$$MC = rc \cdot Y$$

Si reemplazamos en (5.1) obtenemos que

$$R_0 = [rc \cdot Y] - C_f \quad (5.3)$$

Con la expresión algebraica del resultado operativo, podemos derivar la correspondiente al punto de nivelación de la empresa

Si trabajamos en función del volumen físico de ventas, tenemos que:

$$R_0 = mc \cdot Q - C_f$$

dado que el punto de equilibrio se define como aquel volumen de ventas para el cual el resultado operativo es cero, tenemos que:

$$R_0 = mc \cdot Q - C_f = 0$$

o sea, que:  $mc \cdot Q = C_f$

y, esto implica:

$$Q_n = \frac{C_f}{mc} \quad (5.4)$$

donde  $Q_n$  = cantidad de nivelación

Si trabajamos en función del volumen monetario de ventas, tenemos que:

$$R_0 = rc \cdot Y - C_f = 0$$

$$rc \cdot Y = C_f \quad \neq$$



$$V_n = \frac{C_F}{rc} \quad (5.5)$$

donde:  $V_n$  = ventas de nivelación

### Y 2.3 1.2) Empresas Poliproductoras

El análisis anterior puede también ampliarse para el caso de una empresa que produce más de un artículo. Para ello, retomaremos todos los supuestos de dicho análisis, salvo el de la existencia de un único producto

Si suponemos, además, que cada producto posee costos variables, perfectamente separables del resto, podemos definir un margen de contribución ( $mc_i$ ) para cada uno de ellos. O sea

$$mc_i = p_i - cv_i$$

dado  $i = 1, \dots, N$  artículos producidos

La expresión del resultado operativo pasa a ser ahora

$$R_0 = \left[ \sum_{i=1}^N mc_i \cdot Q_i \right] - C_F$$

Para desarrollar una expresión algebraica del punto de nivelación, nos encontramos con un grave inconveniente. Dicho punto se va a encontrar donde:

$$\sum_{i=1}^N mc_i \cdot Q_i = C_F$$

Pero sucede que existen múltiples combinaciones de cada  $mc_i$  y  $Q_i$ , que satisfacen la condición de nivelación, o sea, nos encontramos ante una indeterminación, porque no existe una mezcla de nivelación, sino que una diversidad de ellas

Esta indeterminación sólo puede resolverse en ciertos casos particulares, entre los cuales cabe citar

- a) Caso en el que los márgenes de contribución unitarios de los distintos productos son iguales entre sí, esto es

$$mc_1 = mc_2 = \dots = mc_N$$

es decir, que el precio y costo variable de producir cada artículo puede ser distinto, pero sus diferencias ( $mc_i$ ) son iguales

- Dado esto, para alcanzar el punto de nivelación resulta suficiente vender una cierta cantidad de unidades físicas ( $Q_n$ ), cualquiera sea la participación de cada producto en ese total. O sea, que

$$Q_n = \frac{C_F}{mcp}$$

Cabe señalar que este es un caso bastante difícil de encontrar en la realidad

- b) Caso en el que las razones de contribución de cada producto son iguales, es decir, que

$$rc_1 = rc_2 = \dots = rc_N$$

Por lo tanto, para alcanzar la situación de nivelación sólo se requiere un volumen de ventas ( $V_n$ ) tal, que:

$$V_n = \frac{C_F}{rc}$$

Este caso es más común en la práctica, ya que se produce cuando la empresa obtiene el precio de venta del artículo, agregándole un porcentaje fijo sobre su costo de producción.

- c) Caso en el cual la proporción de cada artículo en el volumen de ventas ("mezcla de ventas") se mantiene inalterada. O sea, que:

$$\frac{V_1}{V_T} = a; \quad \frac{V_2}{V_T} = b; \quad \dots, \quad \frac{V_N}{V_T} = n$$

$$y \quad \frac{Q_1}{Q_T} = a_1; \quad \frac{Q_2}{Q_T} = b_1; \quad \dots, \quad \frac{Q_N}{Q_T} = n_1$$

siendo  $a, b, \dots, n$  y  $a_1, b_1, \dots, n_1$ , constantes en el tiempo, aunque no tienen porque ser iguales entre sí.

De esta manera, podemos calcular el margen de contribución de cada una de las unidades vendidas de nuestra mezcla de ventas ( $mcp$ ), como:

$$mcp = \sum_{i=1}^N mc_i \cdot \frac{Q_i}{Q_c}$$

siendo ahora el punto de equilibrio el nivel físico de ventas, para el cual se cumple que:

$$Q_n = \frac{C_F}{mcp}$$

También puede calcularse el volumen de ventas de nivelación en pesos ( $V_n$ ), mediante el cálculo de la razón de contribución de la "mezcla de ventas" ( $rcp$ ), es decir

$$rcp = \sum_{i=1}^n ci = \frac{V_i}{V_t}$$

$$V_n = \frac{C_F}{rcp}$$

### V 2.3.2) Rentabilidad y Depreciación del Capital Invertido

El enfoque tradicional de análisis de nivelación no considera, explícitamente, el problema del capital invertido en la empresa. Este último, presenta una doble perspectiva:

- Depreciación del capital: el capital invertido en la empresa sufre, año a año, una pérdida de valor, la cual debe ser considerada como un componente más del costo de producir y vender.
- Interés sobre el capital: la actividad productiva de la empresa nos obliga a tener inmovilizados, en la misma, montos, a veces muy importantes, en forma de edificios, maquinarias, etc. Esto produce en la empresa un costo real, que es igual a la rentabilidad que podría obtenerse de dichos fondos inmovilizados, en su mejor alternativa y que debe considerarse como un costo más de operación.

Si bien es claro que ambos costos deben incorporarse, no existe una sola forma de hacerlo. La primera pregunta a responder es en cuál categoría de costos (variables o fijos) debe ser incluido cada uno de estos ítemes, información necesaria para modelar su inclusión en el análisis de nivelación.

El interés sobre el capital invertido, dado un tamaño de la empresa, es función de la tasa de costo alternativo y del monto invertido (valor de realización de los activos), pero no depende del volumen de ventas. Por lo tanto, es claro que este costo debe recibir un tratamiento similar a los fijos.

El caso de la depreciación no es tan simple, ya que esto depende de la variable que esté determinando la pérdida de valor de los activos. Existen dos factores principales que provocan esta pérdida de valor, que son el tiempo y el uso, siendo distinta la importancia relativa de cada uno, según el caso. Aquel porcentaje provocado por el uso de la máquina debería ser considerado como un componente de los costos variables, de producir y vender el producto y, el atribuible al paso del tiempo (obsolescencia), debería ser considerado como un componente de los costos fijos.

Sin embargo, en el desarrollo que haremos a continuación se va a trabajar bajo el supuesto de que la pérdida de valor de los activos se produce sólo por causa de la obsolescencia de los mismos. El objetivo de dicho supuesto es la no complicación innecesaria de dicho desarrollo.

Dado lo anterior, podemos reformular el análisis de punto de equilibrio. Este se definiría ahora como

$$Q_n = \frac{C_F + C.I. + D.A.}{mc}$$

$$V_n = \frac{C_F + C.I. + D.A.}{rc}$$

donde

CI = costo alternativo capital invertido  
DA = depreciación activos

Es un hecho que el monto de capital invertido en la empresa no es constante en el tiempo, lo cual hace que los factores que acabamos de incluir (CI y DA) varíen de valor año a año. Dado esto, se nos presentan dos métodos alternativos:

#### V 2.3.2.1) Punto de Equilibrio Anual

El primero consiste en calcular, para cada año, el valor de los activos al inicio y final del mismo; de esta manera se pueden calcular ambos factores como

$$DA = VCI_0 - VCI_1$$

$$CI = \frac{VCI_0 + VCI_1}{2} \cdot r$$

donde

$VCI_0$  = valor capital invertido al inicio del ejercicio

$VCI_1$  = valor capital invertido al final del ejercicio.

$r$  = tasa de costo alternativo

suponiendo que la tasa de depreciación de los activos es constante en el año, al igual que la tasa de costo alternativo.

De esta manera se podría calcular un volumen de nivelación, para cada año de vida del proyecto.

#### V 2.3.2.2) Punto de Equilibrio Promedio

Esta segunda alternativa consiste en determinar un valor promedio anual, para los costos de depreciación e interés, sobre el capital invertido. Si bien, este método es considerado, en teoría, menos exacto que el anterior, esto no queda tan claro en la práctica. La causa es que la exactitud del primero, depende de qué tan bien se estime la pérdida de valor de los equipos y la tasa de descuento relevante, para cada año.

En caso de no contar con la información necesaria para ello, que es lo típico, la mayor precisión de uno de estos métodos pasa a ser relativa. Además, una ventaja adicional del método promedio es su mayor simplicidad en el uso, ya que, en vez de entregar un valor de punto de equilibrio distintos para cada año de vida del proyecto, nos da uno promedio para la vida estimada del mismo.

La forma de cálculo de los costos de capital en este proceso, se basa en el método de las anualidades. Los datos que se utilizan son: el valor inicial de los activos (I.I), valor residual de liquidación al término de la vida útil del proyecto (VRI) y la tasa promedio de costo alternativo (r). De esta manera, el cargo anual por depreciación y costo alternativo de capital (CAI) se calcula como:

$$CAI = [I.I - (VRI * VP(r,n))] * A(r,n)$$

donde:

VP(r,n) = factor de valor presente dado un periodo de n años y una tasa de interés de r.

A(r,n) = factor de anualidad dado un periodo de n años y una tasa de interés de r.

Esto se puede escribir como:

$$CAI = \left[ I.I - \frac{VRI}{(1+r)^n} \right] * \left[ \frac{(1+r)^n * r}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (5.6)$$

y la determinación del punto de equilibrio sería:

$$Q_n = \frac{C_F + CAI}{mc} \quad (5.7)$$

$$V_n = \frac{C_F + CAI}{rc} \quad (5.8)$$

### V 2.3.3) Impuestos a las utilidades

Todo el análisis anterior excluye la existencia de los impuestos a las utilidades de las empresas. Pero, éstos son una realidad y deben ser incluidos en la determinación del punto de equilibrio.

En esta perspectiva, el análisis se complica, debido a que pierde la linealidad. Esto se debe a que, al introducir los impuestos, las ventas deben ser separadas en dos segmentos.

El primero de ellos consiste en aquel volumen de ventas, que nos entrega una utilidad contable (no real) igual a cero. Hasta este punto, dado que no se registran ganancias contables, los impuestos son iguales a cero. El segundo de ellos, consiste en todas las unidades adicionales al volumen anterior, ya que ellas provocan utilidades contables y, por ello, están sujetas al pago de impuestos a las utilidades.

El análisis puede realizarse de la siguiente manera:

a) El punto de ganancia contable cero, es aquel para el cual se cumple que:

$$V_0 = C_v0 + C_f + Dep.$$

donde:

$V_0$  = ventas que entregan ganancia contable igual a cero

$C_v0$  = costo variable de las ventas  $V_0$

$C_f$  = costos fijos

Dep = depreciación contable

Esto también puede escribirse en función del volumen físico de ventas, como

$$Q_0 * p = C_v0 + C_f + Dep.$$

Estas unidades, físicas ( $Q_0$ ) o monetarias ( $V_0$ ), no están sujetas al pago de impuestos, por lo tanto, el mc y la rc son iguales a las desarrolladas hasta el momento, las cuales serán llamadas, desde ahora,  $mc_0$  y  $rc_0$ . Pero, para las unidades siguientes, dado que están sujetas al pago de impuestos, el mc y la rc cambian, éstas son, a partir de ese momento

$$mc_1 = (p - cv) - (t * uc)$$

$$rc_1 = \frac{(p - cv) - (t * uc)}{p}$$

donde

$mc_1$  = margen de contribución de las unidades vendidas a partir de  $Q_0$

t = tasa porcentual de impuesto a las utilidades.

uc = utilidad contable, originada por la unidad vendida.

debido a que la utilidad contable, entregada por cada unidad adicional de venta, es igual al margen de contribución, tenemos que:

$$mc_1 = (p - cv) - t * (p - cv)$$

$$mc_1 = (p - cv) * (1 - t)$$

$$mc_1 = mc_0 * (1 - t)$$

$$rc_1 = rc_0 * (1 - t)$$

Por lo tanto, el procedimiento utilizado para encontrar el punto de equilibrio en unidades físicas de ventas, en presencia de impuestos a las utilidades, va a consistir en.

o) Encontrar aquel volumen de ventas, para el cual la utilidad contable es cero ( $Q_0$ )

$$Q_0 = \frac{C_F + Dep}{mc_0}$$

- b) Encontrar la diferencia entre los costos totales contables ( $CT_C$ ) y los reales ( $CT_R$ ), que es la diferencia que nos resta por recuperar, con un volumen de ventas  $Q_0$ , para obtener el punto real de equilibrio de la empresa

Dado que

$$CT_C = C_V + C_F + Dep$$

$$CT_R = C_V + C_F + CAI$$

$$CT_C - CT_R = CAI - Dep$$

- c) Para recuperar la diferencia anterior, el margen de contribución relevante es el sujeto a impuestos, por lo tanto, las unidades físicas de venta necesarias ( $Q_1$ ) son:

$$Q_1 = \frac{CAI - Dep}{mc_1}$$

- d) Por lo tanto, el punto de equilibrio de la empresa se obtiene ahora, como

$$Q_n = Q_0 + Q_1$$

$$Q_n = \frac{C_F + Dep}{mc_0} + \frac{CAI - Dep}{mc_1}$$

$$Q_n = \frac{C_F + Dep}{mc_0} + \frac{CAI - Dep}{mc_0 * (1-t)}$$

$$Q_n = \frac{(C_F + Dep) * (1-t) + CAI - Dep}{mc_0 * (1-t)}$$

$$Q_n = \frac{C_F (1-t) + Dep * (1-t) + CAI - Dep}{mc_0 * (1-t)}$$

$$Q_n = \frac{C_F (1-t) - (Dep * t) + CAI}{mc_0 * (1-t)}$$

(5.9)

Expresado en volumen monetario de ventas, tendríamos:

$$V_n = \frac{C_F * (1-t) - (Dep * t) + CAI}{rc_0 * (1-t)} \quad (5.10)$$

### V.3) MÉTODOS QUE CONSIDERAN PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

La principal limitación de los métodos anteriores es que, si bien nos agregan información, sobre los probables resultados del proyecto, no nos indican nada sobre la posibilidad de ocurrencia de cada uno de éstos. Y éste es un aspecto clave, ya que dificulta, fuertemente, el proceso de decisión.

A modo de ejemplo, suponga que, a través de la aplicación de la técnica de escenarios, Ud. obtuviera los siguientes resultados para un proyecto.

Cuadro V.3

Escenario	VAN
Optimista	1.000
Medio	0
Pesimista	-1.000

La pregunta crucial es qué decisión tomar sobre el proyecto. La respuesta a esta interrogante puede dificultarse bastante, si no se dispone de algún tipo de información adicional, sobre la posibilidad de que se den cada uno de dichos escenarios.

Este problema dio origen al desarrollo de una serie de métodos que intentan incorporar la probabilidad de ocurrencia de cada evento, en el nivel de los flujos de caja o, directamente, en los indicadores de rentabilidad del proyecto.

A continuación se van a analizar dos de los procedimientos más difundidos: el análisis de riesgo y los árboles de decisión.

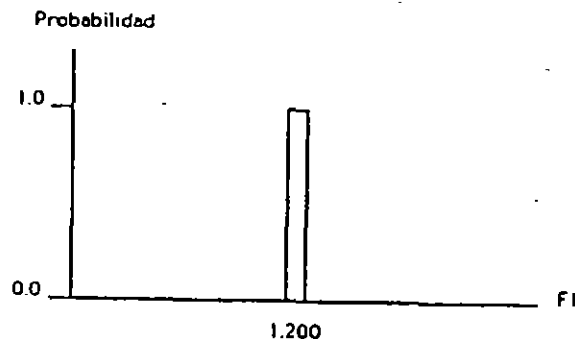
#### V.3.1) Análisis de Riesgo

La incertidumbre sobre el valor futuro de una variable puede ser, normalmente explicitada, a través de la distribución de probabilidad de la misma. Es decir, el conjunto de los distintos valores que puede adoptar y la probabilidad de ocurrencia, de cada uno de ellos.

Supongamos el caso de que a Ud. le ofrecen la alternativa de invertir \$1.000 en un bono a un año, el cual le redeviara, al final del mismo, la suma de \$1.200. Si, por ejemplo, no existiera ninguna duda de que el bono será pagado, la distribución del flujo futuro de caja a recibir, sería como la del gráfico V.2. Esto es, los \$1.200 con una probabilidad de ocurrencia de 1. Lo anterior se denomina, variable cierta o no aleatoria.

//

Gráfico V.2  
Distribución de probabilidad de una  
variable no aleatoria



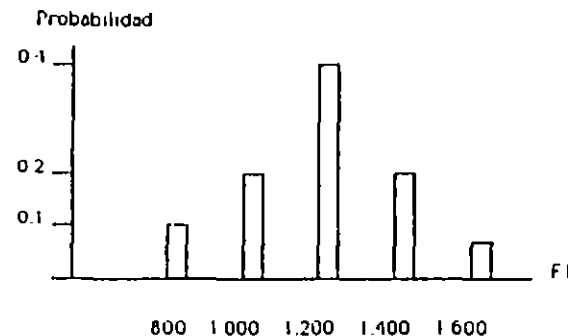
Pasemos ahora a otra situación y, supongamos que lo que le han ofrecido es la adquisición de una participación, en los resultados de la empresa. En este caso, el flujo futuro de caja a recibir va a depender de cómo evolucionen las ventas de la empresa, en el transcurso del año. En el cuadro V.4 se presenta un detalle de los distintos niveles de renta que generará esta alternativa, los cuales dependen del estado de la economía y de la probabilidad de ocurrencia de cada uno.

Cuadro V.4

Estado	Flujo de caja	Probabilidad
Recesión fuerte	800	0,10
Recesión suave	1.000	0,20
Normal	1.200	0,40
Expansión menor	1.400	0,20
Expansión fuerte	1.600	0,10

Estos flujos de caja, también pueden mostrarse gráficamente, a través de la distribución de probabilidad de los mismos, como se hace en el gráfico siguiente.

Gráfico V.3  
Distribución de probabilidad de una  
variable aleatoria



Comparando las dos situaciones planteadas, se puede concluir que, en ambos casos, el resultado más probable de obtener es \$1 200, al cabo de un año, pero es claro que las dos propuestas no son idénticas. La diferencia fundamental radica en el nivel de riesgo, asociado a cada una de ellas, el cual está definido por la distribución de probabilidad de sus resultados.

Si calculáramos algún indicador de rentabilidad para las alternativas anteriores (VAN, TIR, etc.), éste tendría un solo valor posible, en la primera de ellas, y una distribución de probabilidad del mismo tipo que los flujos, en la segunda. Esta es la razón por la cual se dice que el nivel de riesgo de un proyecto puede explicitarse, a través de la distribución de probabilidades de sus resultados o indicadores de rentabilidad.

Dado lo anterior, podemos definir al método en cuestión como una herramienta para obtener una medición del nivel de riesgo de un proyecto, lo cual se logra, a través de la obtención de una serie de medidas estadísticas de dicha distribución, como son la media y la desviación estándar.

Antes de seguir adelante, es necesario hacer una aclaración. La aplicación práctica de este método posee dos versiones, que se diferencian, básicamente, por el tipo de distribuciones utilizadas, redundando en diversos niveles de complejidad.

El primero consiste en la utilización de distribuciones de probabilidad discretas, es decir, un número limitado de valores para la variable incierta, a cada uno de los cuales se les asigna una probabilidad de ocurrencia determinada. La limitante de esta versión es que solo nos permite analizar una serie finita de combinaciones factibles. Sin embargo, el aspecto positivo de la limitación anterior es que su nivel de complejidad permite aplicarlo en forma manual o con el apoyo de un programa computacional, no excesivamente sofisticado.

El uso de estos consiste en la utilización de distribuciones de probabilidad continua, para las variables relevantes. La principal ventaja de este método es que, a diferencia de todos los anteriores, permite considerar todos los probables resultados del proyecto. La aplicación más difundida de este método recibe el nombre de "Simulación de Montecarlo", cuyo uso, en el presupuesto de capital, está asociado, principalmente, a David Hertz<sup>4</sup> y a Mackinsey y Compañía

Sin embargo, a pesar de ser éste el método más completo de todos los analizados, presenta el inconveniente de que su aplicación conlleva un alto nivel de complejidad de cálculo, lo cual hace indispensable el uso de computadores y programas sofisticados, limitando, en gran medida, su difusión

Por todo ello, en esta sección sólo se van a desarrollar las bases del análisis de riesgo, a través de un ejemplo relativamente simple, de utilización de distribuciones discretas, dejando la profundización del tema, para la consulta de la bibliografía recomendada

Supongamos que estamos evaluando una propuesta de inversión, en la cual la distribución de probabilidad de los flujos de fondos, de los distintos periodos, son independientes entre sí. En otras palabras, el flujo de fondos que se recibe en el periodo  $t$  no depende del recibido en el  $t-1$ .

El proyecto posee una vida útil de dos años y requiere un monto de inversión de \$2000. La tasa de descuento de la empresa es de un 10% anual y la distribución estimada para los flujos netos de caja, es la siguiente.

Cuadro V5

F1	F2	Probabilidad
1 000	1 500	0.2
1 500	2 000	0.3
2 000	2 500	0.3
2 500	3 000	0.2

El VAN que realmente se obtendría, de aceptar el proyecto, sería:

$$VAN_R = -2000 + \frac{F1_R}{(1+0.1)^1} + \frac{F2_R}{(1+0.1)^2}$$

donde  $F1_R$  es el flujo que, efectivamente, se recibirá en el periodo  $t$ .

Sin embargo, dado que a priori sólo conocemos la distribución de probabilidad de los flujos, debemos recurrir a alguna estimación de dicho valor real. La fórmula más recomendable para ello es la media de los flujos, que consiste en un promedio ponderado de éstos, siendo el factor de ponderación, la probabilidad de ocurrencia de cada uno de

ellos. Esto es:

$$F1_M = \sum_{i=1}^{i=n} F1_i \cdot Pt_i \quad (5.11)$$

donde:

- $F1_M$  = media de los flujos (probable) del periodo  $t$
- $F1_i$  = flujo probable del periodo
- $Pt_i$  = probabilidad de ocurrencia del  $F1_i$

Si aplicamos esto a los flujos probados para el proyecto, obtenemos que:

$$F1_M = 1000 \cdot 0.2 + 1500 \cdot 0.3 + 2000 \cdot 0.3 + 2500 \cdot 0.2 = 1750$$

$$F2_M = 1500 \cdot 0.2 + 2000 \cdot 0.3 + 2500 \cdot 0.3 + 3000 \cdot 0.2 = 2250$$

Con estos valores, estamos en condiciones de calcular el valor más probable del VAN del proyecto, que se denomina "VAN esperado" ( $VAN_E$ ):

$$VAN_E = -2000 - \frac{1750}{(1+0.1)^1} - \frac{2250}{(1+0.1)^2} = 1450$$

El  $VAN_E$  nos entrega una estimación del resultado que posee una mayor probabilidad de ocurrencia, pero no nos da ningún tipo de información sobre el riesgo, implicado en el proyecto. Anteriormente vimos que este podía incluirse por lo "anchuro" de la distribución de probabilidad del VAN, por lo que una alternativa consiste en graficar la misma.

Aunque, para no tener que recurrir siempre a los gráficos, existe la posibilidad de utilizar una medida de la dispersión de dicha distribución. La unidad de medida convencional para esto es la desviación estándar ( $\Omega$ ). Ésta puede expresarse matemáticamente, para cada uno de los flujos del proyecto, como:

$$\Omega_t = \sqrt{2 \sum_{i=1}^{i=n} (F1_i - F1_M)^2 \cdot Pt_i} \quad (5.12)$$

Como dijimos, esta desviación estándar es una medida de la "estrechez" de la distribución de probabilidad. Por ejemplo, si los flujos tuvieran una distribución normal de probabilidades<sup>5</sup>, aproximadamente el 68% del área de la distribución se

<sup>4</sup> Véase D. B. Hertz, "Investment Policies That Pay Off", Harvard Business Review, 46: 9-108 (Enero-Febrero, 1968)

<sup>5</sup> No hay ninguna razón que a priori nos permita inferir que la distribución de probabilidades es de tipo normal, sin embargo vamos a trabajar en el resto del capítulo bajo dicho supuesto. Esto se debe a que ello provoca una importante simplificación a los efectos de la medición del riesgo del proyecto, el cual puede hacerse sólo sobre la base de la media y desviación estándar. 13

inconducción comprendida, en un rango de una desviación estándar, alrededor (+/-) de la media. Esto significa que sólo existe una posibilidad de un 32% de que el resultado real se aparte, en más de una desviación estándar, de la media. Si tomamos un rango de dos desviaciones, la probabilidad disminuye a cerca del 5% y, en caso de tomar tres, a un 1%.

La desviación estándar de los flujos del primer periodo, podría calcularse como:

$$\sigma_1 = \sqrt{(1.000 - 1.750)^2_{f_1} + (1.500 - 1.750)^2_{f_2} + (2.000 - 1.750)^2_{f_3} + (2.500 - 1.750)^2_{f_4}}$$

$$\sigma_1 = \sqrt{262.500} = 512,34$$

Si se observa la dispersión de los valores de cada periodo, alrededor de la media, se verá que es la misma, lo cual hace que la desviación estándar del flujo del segundo periodo sea también 512,34.

Hasta el momento, hemos calculado la desviación de cada uno de los flujos, pero el valor que realmente nos interesa es la desviación estándar del indicador de rentabilidad ( $\sigma_{VAN}$ ), que es la verdadera medida del riesgo del proyecto. La forma de cálculo de la misma, va a depender de la correlación que exista entre los flujos del proyecto. Para el caso de independencia absoluta con que estamos trabajando, la fórmula a aplicar es:

$$\sigma_{VAN} = \sqrt{\sum_{t=1}^{t=n} \frac{\sigma_t^2}{(1+r)^{2t}}} \quad (5.13)$$

Si aplicamos dicha fórmula a nuestro ejemplo, obtenemos

$$\sigma_{VAN} = \sqrt{\frac{512.34^2}{(1+0.1)^2} + \frac{512.34^2}{(1+0.1)^4}} = 629,47$$

La media y la desviación estándar de la distribución de probabilidad del VAN nos brinda una importante información, para evaluar el riesgo del proyecto de inversión. En primer lugar, podemos estimar la posibilidad de que dicho valor se encuentre dentro de ciertos rangos. Por ejemplo, sobre la base de restar de una a tres desviaciones estándar, podemos obtener lo siguiente:

Cuadro V 6

Rango VAN	Probabilidad de ocurrencia
821-2 079	68,5%
192-2 708	95,4%
-437-3 337	99,7%

Lo anterior indica que existe, por ejemplo, una probabilidad, de poco más de un 68%, de que el VAN del proyecto se encuentre en el rango de \$821 a \$2079.

Otra muestra de las aplicaciones de la información disponible, podría ser la estimación de la probabilidad de obtener un VAN negativo. Para determinarla, debemos proceder, primero, a la estandarización de la diferencia entre la media y el valor buscado; esto es:

$$\frac{1.450 - 0}{629} = 2,305$$

es decir, el VAN a obtener de la realización del proyecto, debería apartarse 2,305 desviaciones estándar de la media, para obtener un VAN de cero. Si con esta información consultamos una tabla de distribución normal de probabilidad, ésta nos dirá que sólo existe una probabilidad del 1,07% de que un valor se "escape", más de 2,305 desviaciones estándar, a la izquierda de la media.

Todo el desarrollo anterior se ha hecho sobre el supuesto de que los flujos de caja no se hallaban correlacionados, pero esto no es común en la práctica. Por ejemplo, suponer que un resultado, ya sea extremadamente favorable o desfavorable, en el comienzo de la vida de una propuesta de inversión, no afecte los resultados posteriores no es real, al menos en la mayoría de los casos.

¿Cuáles son las consecuencias de suponer que los flujos de caja son dependientes? La forma de cálculo del valor medio de los flujos y el VAN esperado no se alteran, sin embargo, la desviación estándar de los valores esperados alrededor del  $VAN_E$  será mayor que en el supuesto de independencia. Es decir, a mayor correlación será mayor la dispersión.

Un primer caso que se puede presentar es el de la correlación perfecta de los flujos de caja, o sea, que el flujo de caja del periodo t dependa totalmente de lo sucedido en el periodo t-1. Por ejemplo, si el flujo t-1 se aparta X desviaciones estándar a la izquierda de su media, el flujo t lo hará también X veces su desviación, en el mismo sentido. La fórmula para calcular la desviación estándar de una corriente, perfectamente correlacionada, de flujos de caja, es la siguiente:

$$\sigma_{VAN} = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{\sigma_t}{(1+r)^t} \quad (5.14)$$

Si aplicamos dicha fórmula al caso anterior, obtendríamos que:

$$\sigma_{VAN} = \frac{512.34}{(1+0.1)^1} + \frac{512.34}{(1+0.1)^2} = 889,18$$

Con la excepción del nuevo valor obtenido para la desviación estándar, el resto del análisis, desarrollado para el caso de independencia, sigue siendo válido para la situación de correlación perfecta.

Sin embargo, aun queda pendiente analizar aquellos casos de correlación moderada, es decir, entre la ausencia de la misma y la perfecta. Sin embargo, el principal inconveniente consiste en que el problema no permite un tratamiento matemático. No obstante, si existen ciertos métodos, que permiten analizar el caso, uno

de los cuales es el uso de la técnica de árboles de decisión, que se desarrolla en la siguiente sección.

Otro aspecto del uso de este análisis es la comparación entre proyectos. Supongamos el caso de dos proyectos (A y B), que poseen los siguientes valores:

$$VAN_E(A) = 1.500$$

$$VAN_E(B) = 2.800$$

$$\sigma_{VAN}(A) = 250$$

$$\sigma_{VAN}(B) = 1.540$$

Vemos que, el proyecto B, posee un mayor VAN esperado, pero su mayor dispersión nos indica que es una alternativa más riesgosa. En este caso, no existe ninguna fórmula matemática o criterio que nos pueda indicar, con exactitud, la decisión más conveniente. La elección dependerá, básicamente, de la actitud y preferencias hacia la toma de riesgos del inversionista, la cual seguramente variará, en función del volumen del proyecto, con respecto a su patrimonio.

Por ejemplo, una persona que tenga una fuerte aversión a tomar riesgos, podría inclinarse más a tomar el proyecto A. Esto sucede, ya que, si bien éste implica, posiblemente, una ganancia menor, la probabilidad de obtener un resultado negativo con él es muy inferior, con respecto a B. Por otra parte, no será igual la decisión del gerente de la General Motors, sobre un proyecto que podría provocarle una pérdida de 100 mil dólares, que la del dueño de una empresa que iría a la quiebra, en caso de experimentar dicha pérdida.

En resumen, como hemos visto, el método del análisis de riesgo no es una "receta" que indique, en todos los casos, la decisión óptima. Este método sólo permite explicitar, con un cierto grado de exactitud, el riesgo implícito en nuestra decisión, pero no elimina la difícil necesidad de tomar una decisión sin la certeza absoluta, sobre el resultado final de la misma. Sin embargo, brinda información, sumamente importante sobre el proyecto, lo cual debería conducir a una toma de decisiones más inteligente.

### V.3.2) Árboles de Decisión

Hasta el momento, hemos estado trabajando sólo con decisiones de aceptación o rechazo, es decir, ante un determinado proyecto, nuestro problema consistía, exclusivamente, en la decisión de realizar o no el mismo. Sin embargo, en ciertos casos nos enfrentamos a proyectos, que implican una serie de elecciones secuenciales en el tiempo.

Uno de los métodos, desarrollados para enfrentar este tipo de inconvenientes, son los árboles de decisión. La aplicación de esta técnica requiere de una serie de pasos sucesivos, que son:

a) Construcción del árbol de decisión, consistente en un esquema gráfico de las distintas alternativas o cursos de acción y de los eventos asociados a las mismas. En este diagrama, cada curso de acción está representado por un cuadrado y, los posibles eventos resultantes del mismo, por un círculo. Por ejemplo, ante la alternativa de construir una planta, los distintos cursos de acción serían hacer una planta grande, una pequeña y no construir nada. A su vez, para cada uno de estos cursos se podrían dar los siguientes eventos: una demanda del producto alta, una media y una baja. En

definitiva, los cursos de acción son las alternativas de decisión, que se le presentan al inversionista y los eventos son los resultados que se obtienen de dicha decisión.

- b) Determinar los flujos de efectivo de cada una de las ramas del árbol.
- c) Evaluar la probabilidad de cada una de las ramas, obtenidas en el paso anterior.
- d) Determinar el valor presente de cada una de las ramas del árbol.

e) Resolver el árbol, con el propósito de determinar cuál de las alternativas es la más conveniente. Esto se efectúa partiendo de los extremos finales del árbol y yendo hacia atrás, hasta llegar al nodo inicial de decisión. Las reglas a utilizar durante este recorrido son:

- e.1) Si el nodo es uno de posibilidad (círculo), se obtiene el valor esperado (media) de los valores asociados al nodo.
- e.2) Si el nodo es de decisión (cuadrado), se selecciona aquella alternativa que maximiza (minimiza) los beneficios (costos) de la decisión.

Vamos a recurrir a un ejemplo, para ilustrar la aplicación de esta técnica. Una empresa está analizando el proyecto de desarrollo de un nuevo producto, para lo cual debe construir una nueva planta, donde realizará su producción. Con esto, se enfrenta a dos alternativas: la primera consiste en construir una planta grande y la segunda, en optar por una pequeña. Si el producto tiene éxito, podrá invertir en una ampliación de la misma. El costo de inversión de la planta grande es de 6 millones y el de la pequeña de 4 millones. La vida útil, estimada para el proyecto, es de tres años.

De optar por la planta de menor tamaño, la empresa tiene planeado decidir sobre la conveniencia de la ampliación, la cual tiene un costo de 3 millones, a la luz de los niveles de venta del primer año. Esto es, si ellos son altos, se consideraría dicha ampliación y, de ser bajos, se descartaría definitivamente.

La estimación de los costos e ingresos del proyecto se ha hecho sobre la base de dos escenarios, en función del éxito del producto, uno de ellos de demanda o ventas altas y otro de demanda baja.

Las probabilidades estimadas para un escenario de demanda alta y baja, en el primer año, son de 60% y 40%, respectivamente. Si la demanda del primer año es alta, se estima la posibilidad de un 60% de que se mantenga así por los próximos dos años. En el caso contrario, se proyecta que serían bajas en ambos. Si las ventas del primer año fueran bajas, se espera que se mantendrán así, por los dos restantes, con un 100% de probabilidad.

Los niveles de utilidad neta, estimados para cada alternativa, son los siguientes.

- a) Si se construye la planta grande y la demanda es alta, las utilidades del primer año se calculan en 3 millones. Para los dos años siguientes, de mantenerse así, el estimado es de 5 millones, para cada uno de ellos y de 3 millones, en caso contrario.
- b) Si se opta por la planta grande y los niveles de venta del primer año son bajos, se estima que éstas se mantendrán en dicho nivel por los dos años restantes. En este caso, se prevé el monto de utilidades, en 2 millones para cada año.

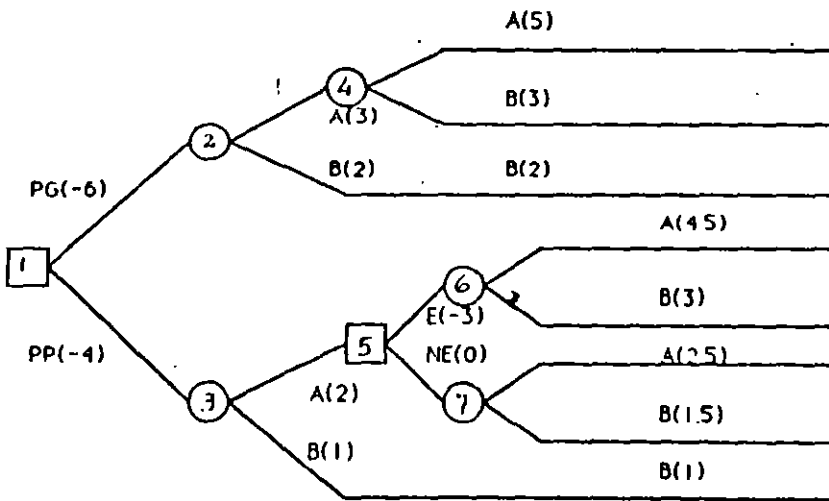


c) Si se opta por la planta pequeña y la demanda del primer año es alta, las utilidades serán de 2 millones. Si se realiza la ampliación, los resultados de los dos años restantes serán de 4,5 millones y 3 millones, para los escenarios de demanda alta y baja, respectivamente. Si no se lleva a cabo esta ampliación, dichos resultados serán de 2,5 millones, en demanda alta, y 1,5 millones, en baja

d) Si se construye la planta pequeña y las ventas del primer año son bajas, se estima que se mantendrán en dicho nivel durante los dos años restantes. En este caso, las utilidades serán de sólo 1 millón, para cada uno de ellos

Con esta información, se puede construir el árbol de decisión del proyecto. En la figura V.4 se han detallado la serie de secuencia de cursos de acción y eventos posibles, con los flujos de caja, asociados a cada uno de ellos. El árbol se inicia en el nodo 1, el cual representa la elección de construir una planta grande (PG) o pequeña (PP). Los dos posibles resultados de obtener en el primer año, demanda alta (A) o baja (B), para cada uno de los tamaños de planta, se representan por los nodos 2 y 3. La otra decisión que puede asumir la empresa, es la de expandirse (E) o no (NE), en el caso de tener una demanda alta en el primer año, decisión representada por el nodo 5. Por último, los niveles de venta a obtener, en cada uno de los casos anteriores, se localizan en los nodos 6 y 7.

Gráfico V.4  
Inversión e Ingresos para cada una de las ramas del árbol de decisión

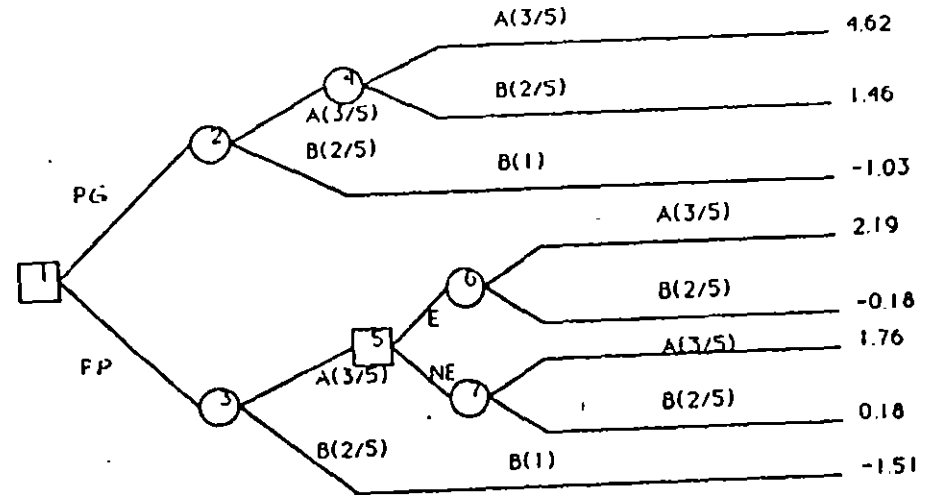


Todo lo anterior define un total de ocho alternativas posibles o ramas del árbol de decisión. El paso siguiente consiste en determinar el VAN de cada una de estas ramas. Por ejemplo, para la primera rama, que muestra la construcción de la planta grande y la obtención de una demanda alta, durante los tres años de duración del proyecto, su VAN puede calcularse como:

$$VAN_1 = -6 + \frac{3}{(1+0.1)^1} + \frac{5}{(1+0.1)^2} + \frac{5}{(1+0.1)^3} = 4,62$$

En el gráfico V.5 se presenta el árbol de decisión, con el detalle de los VAN y probabilidades de cada una de sus ramas. Con esta información, ya estamos en condiciones de resolver dicho árbol.

Gráfico V.5  
Probabilidades y VAN para cada una de las ramas del árbol de decisión



Las decisiones que debe adoptar la empresa son dos: construir la planta grande o pequeña y ampliar o no, en caso de optar por la última de éstas. La decisión de ampliación o no se toma en función del VAN esperado de los nodos 6 y 7, esto es:

$$VAN_{N6} = 2,19 \cdot 0,6 + -0,18 \cdot 0,4 = 1,24$$

$$VAN_{N7} = 1,76 \cdot 0,6 + 0,18 \cdot 0,4 = 1,13$$

de lo cual surge que la mejor elección, en caso de poseer una demanda alta el primer año, es ampliar la planta.

La segunda decisión consiste en determinar el tipo de planta a construir y se debe escoger en función del VAN esperado de los nodos 2 y 3 (considerando en éste sólo el caso en que se amplía la planta). Esto es:

$$VAN_{N4} = 4,62 \cdot 0,6 + 1,46 \cdot 0,4 = 3,36$$

$$VAN_{N2} = 3,36 \cdot 0,6 + -1,03 \cdot 0,4 = 1,60$$

$$VAN_N3 = 1,24 * 0,6 + -1,51 * 0,4 = 0,14$$

de lo cual surge que la decisión más conveniente es construir la planta grande al inicio del proyecto.

A partir del ejemplo anterior, se puede visualizar una de las posibles desventajas de la utilización de esta técnica, consistente en el elevado número de cálculos, que puede implicar. Esto se da porque, en la medida que aumenta el número de nodos de decisión o posibilidad, el número de ramas se incrementa muy rápidamente. Dado este inconveniente, la única forma de lograr una aplicación práctica es simplificar el esquema de decisión, a modo de lograr un número "manejable" de alternativas.

Otro aspecto importante de considerar es qué tipo de elección estamos haciendo con esta técnica. La alternativa que se selecciona, a través del uso del árbol de decisión, es la que presenta el mayor VAN esperado, pero la regla no presta ningún tipo de atención al riesgo de cada una de las posibilidades. Por ejemplo, el VAN de 1,6 millones seleccionada en el ejemplo anterior es simplemente el promedio de tres posibles resultados: 4,62 millones con una probabilidad de 0,36, 1,42 millones con una de 0,24 y -1,03 millones con una probabilidad de 0,4. Lo cual significa, que el VAN de la alternativa, posee una media de 1,6 millones y una desviación estándar de 4,05 millones.

Por otra parte, si bien la alternativa rechazada presenta un VAN esperado menor (0,14 millones), posee también un menor nivel de riesgo, dado que su desviación estándar es de 2,65 millones.

Lo anterior permite concluir que no puede calificarse, a la decisión obtenida por la técnica de árboles de decisión, como la "óptima", ya que no considera el importante aspecto del riesgo, asociado a cada proyecto. Sin embargo, debemos reconocer que ésta es una herramienta analítica muy útil. Una de las principales ventajas, producto de su uso, reside en la confección del árbol, la cual obliga a una sistematización y cuantificación de los diferentes cursos de acción posibles.

Por otra parte, también es posible eliminar las principales limitaciones de este enfoque, a través de su ampliación con el cálculo de las desviaciones estándar, de las distintas alternativas, y la inclusión de ellas en la toma de decisión. Esto puede hacerse mediante el cálculo manual, pero sólo en situaciones que no sean demasiado complejas. En el resto de los casos, se debe hacer uso de las técnicas de simulación.

## ANEXO I

### LECTURAS RECOMENDADAS CAPITULO I

- R. Coss Bu, "Análisis y evaluación de proyectos de inversión", Edit. Limusa, 1985, Capítulo 2.
- J. C. Van Horne, "Fundamentos de Administración Financiera", Editorial Prentice/Hall, 1979, Capítulo 12.
- A. Vidaurre, "Criterios Generales de Evaluación de Proyectos de Inversión", OEA, 1979, Capítulo 3 (pp. 36-59).
- J. F. Weston y E. F. Brigham, "Manual de Administración Financiera", Editorial Interamericana, 1986, Capítulo 4.

### LECTURAS RECOMENDADAS CAPITULO II

- H. Bierman y S. Smidt, "The Capital Budgeting Decision", Editorial MacMillan, 1980, Capítulo 6.
- E. Fontaine, "Evaluación Social de Proyectos", Ediciones Universidad Católica, 1983, Capítulo 1.
- C. T. Horngreen, "La Contabilidad de Costos en la Dirección de Empresas", Editorial Uthea, 1969, Capítulo 13.
- J. C. Mao, "Quantitative Analysis of Financial Decisions", Editorial MacMillan, 1969.
- A. Vidaurre, op. cit., Capítulo 2.

### LECTURAS RECOMENDADAS CAPITULO III

- H. Bierman y S. Smidt, op. cit., Capítulos 2 a 5.
- R. Brealey y S. Myers, "Principios de Finanzas Corporativas", Editorial MacGraw-Hill, 1988, Capítulos 2, 3 y 5.
- R. Coss Bu, op. cit., Capítulos 3 a 5.
- E. Fontaine, op. cit., Capítulo 2.
- J. C. Van Horne, op. cit., Capítulo 13.
- A. Vidaurre, op. cit., Capítulo 3 (pp. 60-88).
- J. F. Weston y E. F. Brigham, op. cit., Capítulo 13. /7



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**ASPECTOS METODOLOGICOS DE LA TARIFICACION  
DE AGUA POTABLE SEGUN CRITERIO DE COSTO MARGINAL**

**LIC. ROBERTO CORTEGOSO  
PALACIO DE MINERIA  
1995**

## INDICE

	Pag.
I. INTRODUCCION .....	1
II. EFICIENCIA ECONOMICA Y EL COSTO MARGINAL .....	6
III. ALGUNOS ASPECTOS ECONOMICOS DEL AGUA POTABLE .....	8
IV. DETERMINACION DE TARIFAS .....	15
Apéndice .....	33
ANEXO 1 : Mercado Estacional y la Evaluacion de Proyectos .....	35
ANEXO 2 : Análisis de Nuevos Usuarios .....	39
ANEXO 3 : Relación entre los Costos Medios y Margina- les de Corto y Largo Plazo para el Caso del Agua Potable .....	43
ANEXO 4 : Costos Marginal y Autofinanciamiento.....	52
ANEXO 5 : Períodos de Máxima Demanda y Capacidad de Regulación .....	58
ANEXO 6 : Análisis de Costos .....	63

En este documento de trabajo se presentan algunos de los aspectos metodológicos desarrollados durante la realización del estudio "Análisis Económico del Precio del Agua: Tarificación de Agua Potable según criterios de Costo Marginal" (Instituto de Economía 1981).

En la introducción se destaca las características de un sistema de tarificación del agua potable de acuerdo al criterio de costo marginal de corto plazo en un sistema donde la demanda por agua tiene un fuerte efecto estacional.

Los capítulos segundo y tercero presentan el análisis de la relación entre costo marginal y eficiencia, costos medios y marginales y además costos de corto y largo plazo.

El capítulo cuarto trata el modelo de determinación de tarifas con un esquema de demanda y oferta de agua potable distinguiendo entre períodos de bajo consumo con exceso de capacidad y períodos de alto consumo donde pueden presentarse problemas por limitaciones de la capacidad del sistema.

Este documento presenta también una serie de anexos, en los cuales se analizan algunos aspectos metodológico-teóricos de la tarificación de agua potable. En general, estos anexos son independientes entre sí, o incluso algunos son independientes del texto principal de este documento. Sin embargo, ellos

forman parte de los problemas que se tuvieron que analizar a lo largo del estudio de tarifas.

El estudio acerca del "Análisis Económico del Precio del Agua: Tarificación de Agua Potable según criterio de Costo Marginal" fue realizado mediante un convenio suscrito entre el Instituto de Economía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, la Oficina de Planificación Nacional (ODEPLAN) y la Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias (EMOS).

La investigación fue dirigida por el profesor investigador del Instituto de Economía don Juan Antonio Zapata Mercado, y trabajaron con él, además, los profesores investigadores don Rodrigo Mujica Ateaga y don Juan Eduardo Coeymans Avaria.

Como investigadores asociados del proyecto participaron el señor Claudio Martínez, Ingeniero Civil y la señora Mónica Lavanderos, Ingeniero Comercial, quienes son memorantes del Programa de Postgrado en Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos.

En una sección del estudio trabajó como investigadora becaria la señora Virginia Muñoz, Ingeniero Comercial; también fueron incorporados al estudio algunos aspectos de los proyectos de tesis de los señores Daniel Hernández, Ingeniero Civil, señora Ximena Montenegro, Ingeniero Químico y señora Liliana Bucher,

Ingeniero Comercial, todos ellos alumnos memorantes del Programa de Postgrado en Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos. Además se desempeñaron como ayudantes los señores Alberto Mauricio Araya y Ramez Cabach.

Los aspectos computacionales, tanto de procesamiento de información comode diseño de sistemas, fueron realizados por don Raúl Galleguillos Hyatt, responsable de esta área en el Instituto.

## I. INTRODUCCION.

El sistema de tarificación elegido se basa en un esquema de demanda y oferta de agua, donde la demanda tiene un efecto estacional que permite distinguir entre un período de bajo consumo y un período de alto consumo y la oferta esta limitada, en el corto plazo, por la capacidad del sistema. En este caso es muy importante considerar si las instalaciones están o no siendo utilizadas a plena capacidad.

Si la demanda crece en un mes en que la infraestrutura está siendo operada a menos que plena capacidad y este aumento no hace necesario ampliar el sistema, el costo de satisfacier dicho aumento de demanda es esencialmente el costo variable, o costo de operación para proveer dicho volumen adicional.

En cambio, si la demanda aumenta en un momento en que ya se está en el nivel de máxima producción con la infraestructura existente, el servicio se deteriora, puesto que es imposible satisfacer la cantidad total demanda a los precios actua



les sin ampliar la capacidad de producción de agua potable.

Para poder mantener un buen nivel de servicio cuando la demanda tiende a superar la oferta, es necesario elevar el precio para que disminuya la cantidad demandada, ajustándose así a la capacidad existente, o alternativamente, se tendría que aumentar la capacidad (oferta) en una magnitud tal que, a los precios vigentes, pueda proveerse una cantidad igual a la nueva (mayor) demanda .

Este esquema de precios permitirá cubrir los costos de operación tanto en invierno como en verano y, por otro lado, cuando el precio de equilibrio en verano supera los costos de operación, genera una renta para la empresa de agua potable. Esta renta cumple dos importantes funciones. Por un lado es una de las señales que deben usarse para decidir cuando ampliar la capacidad del sistema y por otro, contribuye a la financiación de nuevas inversiones.

Cuando la renta generada no alcanza para financiar las inversiones, es necesario cobrar un cargo fijo por conexión. La asignación de dicho cargo fijo a cada categoría de usuarios debe tener en cuenta si las inversiones son específicas para ciertos usuarios o generales, para ampliar la capacidad de

captación, tratamiento y distribución que beneficia a todos los usuarios.

El sistema de agua potable de la ciudad de Santiago<sup>1/</sup> para el cual se desarrolló el esquema de análisis de tarifas presentado en este estudio es de tipo estacional. Ello, porque según EMOS, la cantidad demanda (facturación) en el verano (enero 80) fue un 80% mayor que en el invierno (junio 80).

El método utilizado consistió en un análisis de equilibrio de demanda y oferta de agua, distinguiendo un período de alto consumo, definido como los meses diciembre-marzo, y otro de bajo consumo, de abril a noviembre. Por un lado, se estimaron las elasticidades precio de la demanda en verano e invierno y se determinaron los puntos de equilibrio con la expansión de la oferta, prevista por EMOS. Los ingresos así obtenidos se compararon con los costos marginales de corto plazo, los gastos administrativos y el plan de inversiones de EMOS, con lo que se determinó la existencia de un déficit que debe financiarse con un cargo fijo por conexión.

<sup>1/</sup> Area servida por la Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias (EMOS).

Este esquema abre un abanico de posibilidades en cuanto a criterios de financiamiento y distribución de los aportes a la inversión de acuerdo al tipo de usuario<sup>1/</sup>. En la parte empírica del estudio se analizan los cargos fijos promedio, ya que la información respecto a las inversiones suministrada por EMOS no permite clasificar las inversiones y determinar su impacto en el aumento de la disponibilidad de agua, en su distribución y en la mejora de la calidad del servicio.

Sin embargo, las tarifas de invierno y verano recomendadas no dependen de este tipo de información, por lo que sus valores pueden ser aplicados sin mayores problemas.

Se presentaron varias alternativas tarifarias que comprenden tarifas de invierno, tarifas de verano y cargo fijo. Los valores de cada uno de estos elementos dependen de los criterios establecidos que se detallan a continuación.

Primero, la tarifa siempre debe cubrir los costos variables del suministro de agua, es decir, el costo marginal de corto plazo y ésta debe ser la mínima tarifa por cobrar cuando el sistema opera a menos que plena capacidad (invierno).

---

<sup>1/</sup> Ver Anexo 2.

Segundo, la tarifa debe ser suficiente para racionar la capacidad existente, en condiciones en que el sistema opere a plena capacidad (verano).

Tercero, la empresa debe ser autosuficiente financieramente, por lo cual cualquier déficit debe cubrirse mediante el cobro de un cargo fijo<sup>1/</sup>.

Cuarto, la tarifa de acuerdo a costo marginal puede incluir algunos elementos distributivos con el propósito de favorecer a usuarios con una demanda que tiene poca variación estacional o a usuarios de bajos ingresos. De todas las alternativas posibles para este caso, lo más simple es establecer que, para un determinado consumo base, se aplique una misma tarifa baja (tarifa de invierno) durante todo el año, de modo de no cobrar los costos de expansión del sistema.

1/ El origen del déficit puede ser:

- a) el resultado de inversiones de ampliación del sistema cuando el ingreso del verano menos su costo variable no alcanza a cubrir el retorno a la inversión.
- b) consecuencia de los gastos administrativos de la empresa que no están incluidos en los costos variables. Respecto a estos gastos administrativos hay dos criterios. El criterio estrictamente de costo marginal, de acuerdo al cual estos gastos deben cubrirse con un cargo fijo. Un criterio intermedio entre costo marginal y medio, por el cual estos gastos administrativos deben repartirse en función de las unidades de agua compradas por cada usuario.

## II. EFICIENCIA ECONOMICA Y EL COSTO MARGINAL

En los servicios públicos que operan en forma monopólica, como por ejemplo los servicios de agua potable y alcantarillado, se presenta el problema que el fijar las tarifas de acuerdo a costo marginal no asegura que se logre un óptimo de eficiencia económica. Ello se debe a que el criterio para determinar las tarifas es a través del costo y la empresa puede traspasar al usuario cualquier ineficiencia operativa o de inversiones en que ella incurra, ya que en este caso no operan las fuerzas competitivas que la lleven a ser eficiente.

Este problema adquiere especial importancia en cuanto el sistema llega a plena capacidad, ya que es en este momento cuando la empresa se ve enfrentada con varias alternativas para solucionar el problema de restricción de oferta. Las opciones son, 1) subir el precio para adaptar la demanda a la oferta, 2) mejorar la eficiencia de distribución, almacenaje y regulación de agua, 3) aumentar la disponibilidad de agua mediante inversiones de aumento de capacidad.

La determinación del costo marginal y su cobro al usuario no garantiza de por sí un óptimo. Es necesario para

aumentar la eficiencia que, por un lado, se determine cuáles son las pérdidas (fugas) de agua del sistema que deben aceptarse como inevitables y que, por lo tanto, son un costo e inciden en la tarifa, y cuáles son pérdidas evitables que no deben cobrarse al usuario. Las tarifas estimadas en este estudio contemplan este problema.

Por otro lado, es necesario que ante una necesidad de inversión la empresa analice todas las alternativas técnicas y opte por la que le indique una evaluación social de proyectos. Las tarifas estimadas en este estudio no consideran este aspecto, ya que se utilizó el plan de inversiones determinado por EMOS, sin evaluar las posibles alternativas, las que se supone fueran analizadas por EMOS al decidir su plan. En el futuro y como principio fundamental deben seguirse criterios de evaluación social de proyectos, junto con tarifas de acuerdo al costo marginal.

### III. ALGUNOS ASPECTOS ECONOMICOS DEL AGUA POTABLE.

#### 1. Principios

Los principios de eficiencia económica de este estudio son la igualdad de precio por unidad adicional de agua para cada usuario y el cobro de acuerdo al costo en recursos para la economía, al proveer unidades adicionales de agua. De no cumplirse estos principios se incurriría en una ineficiencia por este concepto, ya que los individuos no valorarían igual la unidad marginal de agua y, en ese caso, la sociedad ganaría al transferir agua de quien la valora menos a quien la valora más. Por otro lado, si no se cobra el costo en recursos de las unidades marginales, puede ocurrir que la sociedad esté destinando más recursos a la producción de agua potable que aquellos que se considera socialmente óptimo.

#### 1.2. Los Costos y su Interpretación.

La tarificación propuesta en este estudio se basa en el costo marginal de corto plazo, con lo cual se asegura efi

ciencia económica, en combinación con un sistema de cargos fijos a fin de lograr el autofinanciamiento del sistema tanto en inversiones como en costos administrativos.

Esta decisión se basa en el análisis de la relación entre costos medios y marginales, así como también entre el corto plazo y largo plazo de cada uno de ellos.

Este análisis indica que si se cobra de acuerdo al costo medio, definido como costo total dividido por el total de unidades, el sistema se autofinancia por definición, pero no es eficiente, ya que nada asegura que el valor que la sociedad asigna a una expansión del sistema justifique distraer recursos económicos de otros usos para invertirlos en agua potable.

Si se cobra de acuerdo al costo marginal el sistema puede o no autofinanciarse, dependiendo de si el costo marginal es mayor o menor que el costo medio. No obstante, cualquier déficit puede cubrirse mediante el cobro de un cargo fijo. Esta forma de cobro es compatible con un sistema eficiente de asignación de recursos económicos al sector agua potable. Debe notarse que esto constituye una condición necesaria, aunque no suficiente, para lograr eficiencia.



Una vez decidido que el costo marginal es el relevante, la pregunta que permanece, cuando las inversiones son indivisibles, es si se debe cobrar el costo marginal de corto o de largo plazo.

La opción de cobrar el costo marginal de corto o de largo plazo ha sido analizada en la literatura sobre el tema. Por ejemplo Hirschleifer, De Haven y Milliman<sup>1/</sup> proponen el cobro de costo marginal de corto plazo para el agua potable; Bennathan y Walters<sup>2/</sup> lo proponen también para el caso de los puertos. Por otro lado, Bird y Jackson<sup>3/</sup> indican que debe cobrarse el costo marginal de largo plazo de agua potable. Los que sostienen que debe cobrarse el costo marginal de corto plazo, argumentan que se incurre en ineficiencias cuando existe capacidad ociosa y se cobra un precio más alto que el costo marginal de corto plazo, porque los consumidores valoran más la última unidad consumida de agua que el valor que la sociedad asigna a los recursos (va

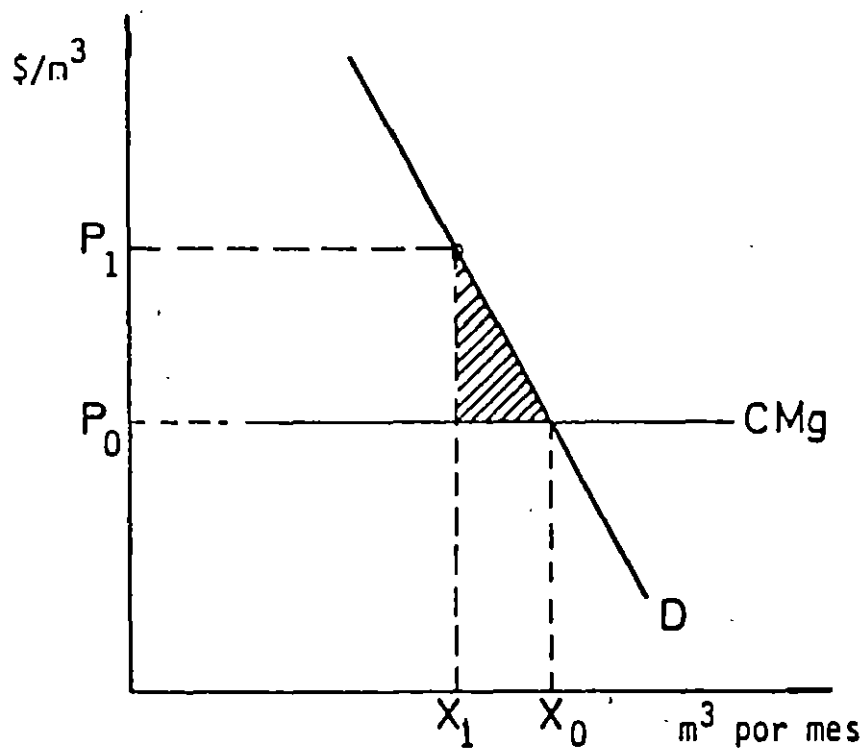
<sup>1/</sup> Hirschleifer, J.; De Haven, J.C. y Milliman, J.W. *Water Supply, Economics, Technology and Policy* (University of Chicago Press, 1960), pág. 97.

<sup>2/</sup> Bennathan, E y Walters, A.A., "Port Pricing and Investment Policy for Developing Countries" (Oxford University Press, 1979), págs. 32-35.

<sup>3/</sup> Bird, P.A. y Jackson, C.I., "Economic Charges for Water" in *Essays in the Theory and Practice of Pricing* (London: Institute of Economic Affairs, 1967), pág. 19.

riables) requeridos para proveer más agua en esas circunstancias. Esto puede verse en el área sombreada comprendida entre la demanda y el costo marginal en el siguiente gráfico, donde se cobra  $P_1$  en lugar de  $P_0$ .

GRAFICO N° 1



Un factor muy importante, en el caso de EMOS, es el hecho evidente de la variación estacional de la demanda, que se refleja en una capacidad ociosa durante los meses de poco consumo, porque el sistema está diseñado para tratar de satisfacer la demanda en las épocas de alto consumo. En este caso, cobrar un precio mayor al costo marginal de corto plazo en meses de bajo consumo es ineficiente, ya que no induce al consumidor a utilizar la capacidad ociosa de esos meses.

Otra importante consecuencia de cobrar más que el costo marginal de corto plazo en meses de capacidad ociosa, es que puede inducir a errores en la evaluación de proyectos, por cuanto el uso de este precio puede resultar en serias sobreestimaciones de las ventajas de un proyecto de aumento de la oferta de agua.

Los beneficios de este tipo de proyecto deben medirse como el valor que la sociedad asigna a unidades adicionales de agua, lo que se refleja en el precio de mercado o en el costo de proveer dichas unidades por un proyecto alternativo, debiendo utilizarse el que sea menor. En el caso de tener capacidad ociosa, obviamente el proyecto alternativo en los meses de bajo consumo consiste en aumentar el uso de la capacidad ociosa,

lo que puede hacerse al costo marginal de corto plazo. Por lo tanto, si el precio cobrado en meses de bajo consumo es mayor al costo marginal de corto plazo, sería erróneo utilizar el precio para evaluar un proyecto de ampliación que también va a satisfacer un crecimiento de la demanda en los meses de bajo consumo, cuando dicho crecimiento podría atenderse con un mayor uso de la capacidad ociosa existente<sup>1/</sup>.

El único argumento en cuanto a las ventajas de utilizar el costo marginal de largo plazo es su mayor estabilidad, que no requiere, por lo tanto, el costo administrativo de cambios de precios. No se cuenta con una estimación de estos costos; simplemente se puede argumentar que si las variaciones de demanda corresponden a efectos estacionales fáciles de predecir, el costo administrativo de establecer una tarifa alta para meses de alto consumo y una tarifa baja en período de bajo consumo no debe ser significativo. Esto coincide con el criterio sugerido para un caso similar, en el libro de E. Benathan y A.A. Walters <sup>2/</sup>.

<sup>1/</sup> Aunque no fue el propósito de este estudio, es posible mostrar que un proyecto con una tasa interna de retorno de 15,8% se reduce a 6.65% si la cantidad de agua vendida cuando hay capacidad ociosa es 59% del total anual. Ver Anexo 1.

<sup>2/</sup> Benathan, E y Walters, A.A. op.cit. págs. 37-40.

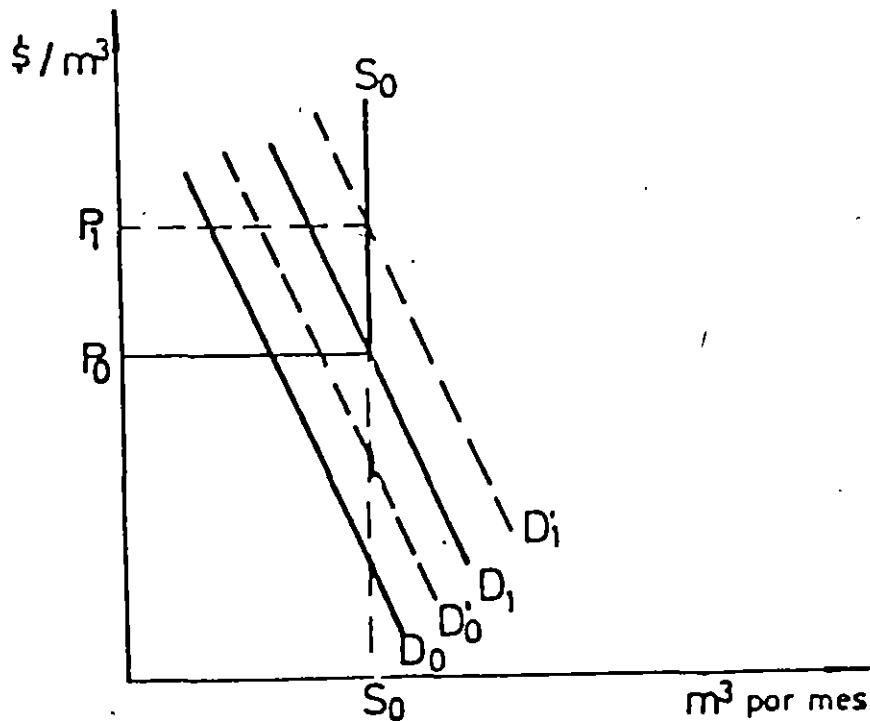
Sintetizando lo expuesto anteriormente, el cobro de acuerdo a corto plazo nos asegura una máxima utilización de la capacidad existente, iguala la cantidad demandada con cantidad ofrecida y es compatible con la realización de inversiones en su momento óptimo. Presenta como inconveniente el que es variable en el tiempo. Se cobrará un precio bajo cuando haya capacidad ociosa y un precio alto cuando la capacidad esté totalmente utilizada y sea necesario ajustar la cantidad demandada a la cantidad ofrecida. Sin embargo, debe notarse que este carácter fluctuante es común en la mayoría de los bienes y servicios de la economía.

Por otra parte, el cobro del costo marginal de largo plazo tiene la ventaja de que es menos fluctuante. Esta estabilidad se logra mediante un sacrificio de la economía que significa restringir el consumo aún cuando hay capacidad ociosa y, por otro lado, al aumentar la demanda y presionar sobre la máxima capacidad, requiere la anticipación de inversiones con su consiguiente aumento de costos. Si todo el sector público que presta servicios monopólicos cobrara de esta forma, estaría sobre dimensionado.

## IV. DETERMINACION DE TARIFAS

El modelo utilizado para establecer las tarifas se basa en un esquema de demanda y oferta de agua potable en forma mensual, como el del gráfico, con una oferta máxima  $S_0$  y dos clases de demanda  $D_0$  y  $D_1$ . La demanda tipo ( $D_0$ ) corresponde al período fuera de peak, donde la cantidad demandada al precio vigente es menor a la capacidad del sistema y la demanda  $D_1$  corresponde al período peak, donde se demanda toda la capacidad al precio vigente. El precio  $P_0$  corresponde al costo marginal de corto plazo.

GRAFICO N° 2



Ante un crecimiento de la demanda de  $D_0$  a  $D'_0$  no existen problemas, ya que pueden ofrecerse las cantidades adicionales con la capacidad existente; en cambio en períodos de congestión cuando se pase de  $D_1$  a  $D'_1$ , sólo podrá satisfacer la nueva demanda si el precio sube lo suficiente para mantener la cantidad demandada igual a la cantidad existente (precio  $P_1$ ) o bien se deteriora el servicio, mediante cortes de agua o disminución de presión. Debe notarse que esta alternativa es desechada en el supuesto que se quiere mantener un cierto nivel de calidad. Este esquema requiere luego determinar el momento en que debe realizarse otra inversión, para la cual hay que considerar la evaluación de la ampliación en base a criterios de evaluación social de proyectos.

El estudio de demanda provee dos parámetros importantes. Uno es la tasa de crecimiento futuro de la demanda y otro, la elasticidad precio.

Para el caso de demanda tipo  $D_1$ , la comparación de su crecimiento con la capacidad existente permite determinar el déficit como porcentaje de la cantidad demanda al precio actual. Y este déficit, a su vez, permite determinar qué aumento porcentual del precio mantiene el consumo igual a la capacidad actual.

El crecimiento estimado de la demanda permite proyectar la capacidad que se requeriría para satisfacer el mayor nivel de consumo deseado, lo que se indica en el Cuadro N°1.

De acuerdo a los planes de inversión actuales, la capacidad aumentará en  $4\text{m}^3/\text{seg}$  ( $3\text{m}^3/\text{seg}$  por expansión de la capacidad y  $1\text{m}^3/\text{seg}$  por mejorar la eficiencia con un programa de control de fugas). Este aumento de capacidad ( $18,5\text{m}^3/\text{seg}$ , con una capacidad efectiva de  $14,86\text{m}^3/\text{seg}$ ) estará disponible cuando se termine el proyecto de inversión actualmente en ejecución<sup>1/</sup> de modo que la comparación de demanda y oferta presenta el siguiente déficit.

CUADRO N°1

## DEFICIT ANUAL DE AGUA EN REGION METROPOLITANA

Años	Demanda ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )	Oferta <sup>*/</sup>	Déficit Porcentual
1982	11,05	10,44	0,06
1983	11,71	10,44	0,11
1984	12,39	10,44	0,16
1985	12,83	10,44	0,19
1986	13,26	10,44	0,21
1987	13,73	10,44	0,24
1988	14,18	10,44	0,26
1989	14,66	10,44	0,29
1990	15,17	10,44	0,31
1991	15,69	10,44	0,33

<sup>\*/</sup> Capacidad disponible para el consumo dada una relación facturación o producción de 72% para los meses de verano de 1980, siendo la capacidad de producción de  $14,5\text{m}^3/\text{seg}$ .

<sup>1/</sup> De acuerdo a la información técnica al momento de hacer el estudio. Si se obtuvieran aumentos parciales de la capacidad



Para efectos de adaptar la demanda a la capacidad disponible, es necesario subir el precio de modo que la cantidad demandada disminuya<sup>1/</sup> La pregunta es qué porcentaje de aumento del precio daría por resultado que la cantidad demandada disminuya en el porcentaje del déficit indicado en el Cuadro N° 1. Esto puede ser estimado a partir de la siguiente ecuación.

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \frac{\Delta x}{x_i} \frac{1}{\eta_{xp}}$$

donde:

$\frac{\Delta p}{p_0}$  = porcentaje de aumento del precio del agua requerida para mantener la cantidad demandada igual a la capacidad, donde  $p_0$  es el precio del agua hoy.

$\frac{\Delta x}{x_i}$  = déficit que existiría como porcentaje de la cantidad demandada en el año  $i$  si se mantuviera el precio actual de  $p_0$ .

$\eta_{xp}$  = elasticidad precio de demanda del agua potable.

De lo anterior, se obtienen los valores tabulados en el siguiente cuadro.

<sup>1/</sup> Relación la demanda por volumen de agua y la demanda por capacidad del sistema. Se analiza en el apéndice al final de este capítulo.

## CUADRO N° 2

INCREMENTO PORCENTUAL DE PRECIOS NECESARIO PARA IGUALDAD DE  
OFERTA Y DEMANDA

Años	$\eta=0,1$	$\eta=0,12$	$\eta=0,15$	$\eta=0,2$	$\eta=0,4$	$\eta=0,6$
1982	0,6	0,50	0,40	0,30	0,15	0,1
1983	1,1	0,92	0,73	0,55	0,28	0,18
1984	1,1	1,33	1,07	0,80	0,40	0,27
1985	1,9	1,58	1,27	0,95	0,48	0,32
1986	2,1	1,75	1,40	1,05	0,53	0,35
1987	2,4	2,00	1,60	1,20	0,60	0,40
1988	2,6	2,17	1,73	1,30	0,65	0,43
1989	2,9	2,42	1,93	1,45	0,73	0,48
1990	3,1	2,58	2,07	1,55	0,78	0,52
1991	3,3	2,75	2,20	1,65	0,83	0,55

El nuevo precio a ser cobrado puede estimarse con la siguiente fórmula:

$$P^* = P_0 + \frac{\Delta P}{P_0} P_0 = P_0 \left( 1 + \frac{\Delta P}{P_0} \right)$$

dado que  $P_0 = 4,60 + 0,55 = 5,15$ .<sup>1/</sup>

Obteniéndose los valores indicados en el cuadro N° 3.

<sup>1/</sup> Corresponde a un cobro por m<sup>3</sup> de \$ 4.60 por agua potable y \$ 0,55 por concepto de alcantarillado. La consideración de usuarios que no usen la red de alcantarillado o que tienen actualmente un precio distinto por agua potable, modificaría los números indicados en el resto de la sección, pero el esquema analítico es el mismo.

CUADRO N° 3  
 PRECIOS DE EQUILIBRIO OFERTA-DEMANDA<sup>1/</sup>

Año	$n=0,1$	$n=0,12$	$n=0,15$	$n=0,2$	$n=0,4$	$n=0,6$
1982	8,24	7,73	7,21	6,69	5,92	5,66
1983	10,82	9,89	8,91	7,98	6,59	6,08
1984	13,39	12,00	10,66	9,27	7,21	6,54
1985	14,94	13,29	11,69	10,04	7,62	6,80
1986	15,97	14,16	12,36	10,56	7,88	6,95
1987	17,51	15,45	13,39	11,33	8,24	7,21
1988	18,54	16,33	14,06	11,85	8,50	7,37
1989	20,09	17,61	15,09	12,62	8,91	7,62
1990	21,12	18,44	15,81	13,13	9,17	7,83
1991	22,15	19,31	16,48	13,65	9,43	7,98

## 2. Estimación de Tarifas.

En esta sección se presentan varias alternativas tarifarias que comprenden tarifa de invierno, tarifa de verano y cargo fijo. Los valores de cada uno de estos elementos depende de los criterios establecidos que se indicaron en los págs.

<sup>1/</sup> Precios no incluyen IVA. El análisis de demanda indica para  $n$  el rango 0,1 - 0,6. Los precios son sólo una aproximación, ya que usamos el concepto de elasticidad constante en lugar de la pendiente de la curva de demanda. También debe notarse que con el actual plan de inversiones esta tabla es válida sólo hasta el año 1984; de ahí en adelante el precio es \$4,20 de acuerdo al análisis presentado en este capítulo. Si como resultado del plan de inversiones la oferta de agua aumenta antes de 1984, estos precios deben disminuir.

A continuación se presentan algunos esquemas alternativos de tarifas, los cuales difieren en cuanto al cobro de los gastos administrativos de la empresa y a la posibilidad de establecer un consumo mínimo no sujeto a variaciones estacionales de precios. Las alternativas son las siguientes:

- A : Una tarifa de invierno, una tarifa de verano, y un cargo fijo que cubra los déficit de inversión y gastos administrativos.
- $B_1, B_2$  : Una tarifa de invierno, una tarifa de verano, y un cargo fijo que cubra sólo los déficit de inversión. El gasto administrativo se cobra por cada  $m^3$  facturado.
- $C_1, C_2$  : Idem a B, pero un primer tramo de consumo básico para los meses de verano de  $10m^3$ , cobrados estos con la tarifa de invierno.

Las tarifas con subíndice uno se diferencian de las con subíndice dos, en que éstas últimas consideran la mitad del cargo fijo de las primeras, y la diferencia se cobra vía costo de capacidad en los veranos en que existe exceso de capacidad (1985-1989).

La tarifa de invierno del caso A es de \$1.60 por  $m^3$  y corresponde al Costo Marginal de Corto Plazo. Las tarifas de invierno de los casos B y C incluyen, además de \$1.60, el costo de \$2,60 correspondiente al costo administrativo por  $m^3$ , lo que hace un total de \$4.20<sup>1/</sup>.

La tarifa de verano está determinada por el precio de equilibrio de la demanda y oferta de agua cuando el sistema está en su plena capacidad, por lo tanto, sería el mismo para cada uno de los casos A, B y C. Esta tarifa varía de acuerdo a la elasticidad precio de la demanda por agua. Para el caso de elasticidad precio igual a -0,15 los precios son:

Año	1982	\$ 7,21
	1983	\$ 8,91
	1984	\$10,66

Para el período 1985-89, durante el cual existirá exceso de capacidad, dado el actual plan de inversiones, deberá cobrarse la tarifa de invierno, excepto para las alternativas  $C_2$  y  $B_2$ .

<sup>1/</sup> en todos los esquemas propuestos, se plantea un costo marginal de corto plazo de \$1,6. Lo anterior se hace por simplicidad, dado que el costo relevante a cada caso, corresponde a la región específica de la cual se trate. Ver anexo N° 6 sobre costos.

El cargo fijo mensual se calcula en base a los ingresos netos esperados durante el verano, es decir, tarifa de verano (ingreso bruto por  $m^3$  facturados) menos tarifa de invierno (costo por  $m^3$  facturado) multiplicado por el total de  $m^3$  facturados durante el verano<sup>1/</sup>. El flujo de ingresos netos esperados se actualiza para la tasa de descuento de 8% y se compara con el valor actual de la inversión (al 8% )<sup>2/</sup> obteniéndose el monto del déficit que debe cobrarse a través de un cargo fijo a los usuarios, para lograr el autofinanciamiento. Este cargo fijo se calcula como la anualidad correspondiente al déficit de inversión para un período de 8 años (tiempo en que se vuelve a llegar a plena capacidad). Dividiendo ésta por el número de conexiones existentes en 1980, se obtiene el valor anual a cobrar por conexión, de donde se obtiene el cargo fijo mensual<sup>3/</sup>.

Para los casos  $B_1$  y  $C_1$  se utiliza el mismo procedi

- 1/ Según información de EMOS, en los meses de enero, febrero, marzo y diciembre de 1980 se facturaron en total de 113.563.000  $m^3$ .
- 2/ El valor actual de la inversión sin IVA corresponde a \$2.940.769.884 (al 8%) en pesos del 1° de enero de 1981. En el estudio sobre tarifas se consideró también una tasa del 12%, con lo que los cargos fijos resultan algo superiores.
- 3/ Para calcular el cargo fijo se dividió el cargo fijo anual por doce, no considerándose la tasa de descuento mensual por razones de simplicidad.

miento con sus valores pertinentes, incluyendo el cargo fijo mensual el gasto administrativo correspondiente.

Las alternativas  $B_2$  y  $C_2$  consideran tan sólo la mitad del cargo fijo de las  $B_1$  y  $C_1$ , pasando a recaudarse el resto del déficit a través de un cobro por unidad durante el período de exceso de capacidad (1985-89). Este valor se obtuvo determinando la anualidad equivalente (para ocho años) del déficit no recaudado vía cargo fijo y dividiéndola por el consumo de verano con la capacidad actual y con el incremento de capacidad, obteniéndose un valor máximo y uno mínimo por cobrar entre dos años.

El resumen de las alternativas planteadas se encuentra tabulado en los Cuadros N° 4 al Cuadro N° 6, para las diferentes elasticidades precio.

Como ejercicio demostrativo se desarrolló un caso particular, que es el ubicado en cuadro N° 5 cuando  $\eta_{xp} = -0,15$ , caso B.

Este caso presenta dos características: en primer lugar el gasto administrativo de \$ 2,60 por  $m^3$  se ha agregado a los costos variables de \$ 1,60, haciendo un costo marginal de corto plazo de \$ 4,20, que es usado como tarifa de invierno.

La tasa de descuento utilizada para la inversión es de 8%, lo que da un valor actual de la inversión de \$ 2.940.769.884

para ser recuperado en un plazo de ocho años (1982-1989)<sup>1/</sup>.

La renta obtenida por cada m<sup>3</sup> vendido a precio de verano (diciembre-marzo) es de:

1982	\$ 7,21 - \$ 4,20 = \$ 3,01 (dic. 81 - marzo 82)
1983	\$ 8,91 - \$ 4,20 = \$ 4,71
1984	\$ 10,66 - \$ 4,20 = \$ 6,46

Esta renta por m<sup>3</sup> debe multiplicarse por 113.563.000 m<sup>3</sup> vendidos durante cada verano (que corresponde a la facturación de los meses de verano 1980), con lo que se obtiene el ingreso anual esperado, el que debe descontarse al 1° de enero de 1981 considerando la tasa del 8%. Ello da un valor actual de los ingresos netos igual a \$ 1.357.447.970.

Restando esta cifra del valor actual de la inversión, se determina un déficit de inversión de \$ 1.583.321.914, (al 1° de enero de 1981) el que puede financiarse con un cobro de cargo fijo total al sistema de \$ 275.521.383. (calculado a fin de año al 8%). Si se consideran 600.000 conexiones, el cobro mensual corresponde a \$ 38,26 a partir de diciembre 1981.

<sup>1/</sup> Se decidió, como criterio, que la inversión debe recuperarse antes de comenzar nuevamente con problemas de capacidad.



CUADRO N° 4

ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA A PARA UNA TASA DE DESCUENTO DEL 8%.

	Elasticidad Precio					
	$\eta=-0,1$	$\eta=-0,12$	$\eta=-0,15$	$\eta=-0,2$	$\eta=-0,4$	$\eta=-0,6$
1. <u>Tarifa de Invierno</u> :(\$/m <sup>3</sup> )	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
2. <u>Tarifa de Verano</u> :(\$/m <sup>3</sup> )						
Año 1982	8,24	7,73	7,21	6,69	5,92	5,66
Año 1983	10,82	9,89	8,91	7,98	6,59	6,08
Año 1984	13,39	12,00	10,66	9,27	7,21	6,54
Años 1985-1989	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
3. <u>Cargo Fijo Mensual</u>						
Déficit Inversión	6,82	13,33	19,88	26,41	36,13	39,45
Gastos Administrativos	<u>122,42</u>	<u>122,43</u>	<u>122,43</u>	<u>122,43</u>	<u>122,43</u>	<u>122,43</u>
TOTAL	129,25	135,77	142,31	148,84	158,56	161,88

CUADRO N° 5

ESQUEMA DE LAS ALTERNATIVAS B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> PARA UNA TASA DE DESCUENTO DEL 8%

	ELASTICIDAD PRECIO					
	$\eta = -0,1$	$\eta = -0,12$	$\eta = -0,15$	$\eta = -0,2$	$\eta = -0,4$	$\eta = -0,6$
1. <u>Tarifa de Invierno</u> (\$/m <sup>3</sup> )	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
2. <u>Tarifa de Verano</u> (\$/m <sup>3</sup> )						
Año 1982	8,24	7,73	7,21	6,69	5,92	5,66
Año 1983	10,82	9,89	8,91	7,98	6,59	6,08
Año 1984	13,39	12,00	10,66	9,27	7,21	6,54
Caso B <sub>1</sub> :						
Años 1985-1989						
<u>Tarifa Verano</u> (\$/m <sup>3</sup> )	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
<u>Cargo fijo mensual</u> (\$)	25,20	31,70	38,26	44,80	54,55	57,84
Caso B <sub>2</sub> :						
Años 1985-1989						
<u>Tarifa Verano 1985</u> (\$/m <sup>3</sup> )	5,65	6,02	6,40	6,78	7,34	7,53
<u>Tarifa Verano 1989</u> (\$/m <sup>3</sup> )	5,32	5,61	5,90	6,19	6,62	6,77
<u>Cargo fijo mensual</u> (\$)	12,60	15,85	19,13	22,40	27,28	28,92

CUADRO N° 6

ESQUEMA DE LAS ALTERNATIVAS  $C_1$  y  $C_2$  PARA UNA TASA DE DESCUENTO DEL 8%.

	Elasticidad Precio					
	$\eta=-0,1$	$\eta=-0,12$	$\eta=-0,15$	$\eta=-0,2$	$\eta=-0,4$	$\eta=-0,6$
1. <u>Tarifa de Invierno</u> (\$/m <sup>3</sup> )	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
2. <u>Tarifa de Verano</u> (\$/m <sup>3</sup> )						
a) Primeros 10 m <sup>3</sup>	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
b) Exceso						
Año 1982	8,24	7,73	7,21	6,69	5,92	5,66
Año 1983	10,82	0,89	8,91	7,98	6,59	6,08
Año 1984	13,39	12,00	10,66	9,27	7,21	6,54
<b>Caso C<sub>1</sub>:</b>						
Años 1985-1989						
<u>Tarifa de verano</u> (\$/m <sup>3</sup> )	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
<u>Cargo fijo Mens.</u>	34,90	40,05	45,20	50,35	58,02	60,64
<b>Caso C<sub>2</sub></b>						
Años 1985-1989						
<u>Tarifa verano 1985</u> (\$/m <sup>3</sup> )	6,75	7,12	7,60	7,87	8,43	8,62
<u>Tarifa verano 1989</u> (\$/m <sup>3</sup> )	6,05	6,33	6,60	6,87	7,28	7,42
<u>Cargo fijo Mensual</u>	17,45	20,03	22,60	25,18	29,01	30,32

Del análisis de los cuadros 4, 5 y 6 se puede concluir lo siguiente:

La tarifa de invierno es independiente del valor de la elasticidad porque está determinada por los costos variables del sistema. En el caso A incluye solamente el costo marginal de corto plazo y en los casos B y C también incluye el costo administrativo medio.

Los precios de verano corresponden a los precios de equilibrio para cada año. En el período 1982-84, en que existen restricciones de capacidad, estos precios son menores mientras mayor es el valor absoluto de la elasticidad precio de la demanda, en cuyo caso más poderoso será el efecto de un aumento en precios puesto que la cantidad demandada será más sensible a esta variable y por lo tanto, para ajustar la cantidad deseada a la capacidad existente, menor será el aumento de tarifas requeridas.

El cargo fijo mensual en los casos A, B<sub>1</sub> y C<sub>1</sub> se calcula de modo que se cubra el déficit ocasionado por la inversión en expansión del sistema en la forma descrita anteriormente. Por lo tanto, depende de los ingresos de verano y se puede observar que es mayor mientras más grande sea el valor absoluto de la elasticidad precio de la demanda.

Los casos  $B_2$  y  $C_2$  son consistentes con el párrafo anterior porque dependen de la misma forma de los ingresos de verano. La condición de que el sistema sea autosuficiente financieramente en el período de ocho años, hasta que comiencen nuevamente los problemas de capacidad, hace que el total a pagar por el conjunto de usuarios sea igual para cualquier esquema y cualquier elasticidad de demanda (dada una tasa de descuento). Esto es, lo que no se paga como precio por metro cúbico termina pagándose como cargo fijo, pues el valor actual de las erogaciones es el mismo en cualquier caso. Los efectos distributivos son distintos y en este sentido el esquema C, y en especial el  $C_2$ , es el que más protege al pequeño consumidor.

Es posible plantear otros esquemas en que el costo fijo mensual sea distinto, dependiendo del diámetro, tipo de usuario o cualquier otra clasificación con determinado sentido distributivo. Esto no se hizo, por que escapa al objetivo de este estudio este tipo de decisión.

Las tarifas indicadas en los Cuadros N° 4 al N° 6 no distinguen entre zonales porque se refiere a un costo marginal de corto plazo promedio de \$1,60. Para calcular la tarifa de cada zonal debe reemplazarse este valor por el indicado

para cada zonal<sup>1/</sup>; este afectarán también al valor de \$4,20 que figura en los cuadros 4 al 6. Los demás valores de estos cuadros no varían de acuerdo a zonas, porque con la información disponible y el sistema de interconexión de la red de agua potable no es posible asignar la inversión por zona.

Las tarifas incluyen tanto agua potable como alcantarillado. Este último está comprendido en la inversión total, en el efecto de efluentes y en los gastos administrativos. El cargo por efluentes de \$0,78 por m<sup>3</sup> de agua facturada no corresponde a un costo pagado por EMOS sino por aquellos que sufren el problema, por lo que deben establecerse sistemas de transferencia de estos recursos a los afectados directamente o a través de las instituciones o proyectos que corresponden. El concepto de costo alternativo del agua puede constituir una renta para EMOS en la medida que sea titular de derechos de riego o pueden servir para adquirir nuevos derechos a medida que sea necesario aumentar el volumen de agua captada.

La estrategia que puede recomendarse para establecer un sistema es comenzar con el caso que aparece como más posible conforme a la actual información disponible, por lo que pueden

implementarse algunos de los esquemas basados en una de elasti-

<sup>1/</sup> Martínez, Claudio; "Determinación de los Costos Marginales de empresas de Agua Potable: El caso EMOS". Tesis para optar al grado de Magister en Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos, Instituto de Economía, Universidad Católica de Chile. 1981

cidad precio (-0,15) con lo que la primera tarifa de verano sería de \$7,21. Entonces, si se observara que persisten problemas de escasez de agua en verano ello significará que el valor absoluto de la elasticidad es menor o que la tasa de expansión de la demanda fue mayor que la prevista en el Cuadro N° 1. Esto último es fácil de comprobar, por lo que la tarifa puede ajustarse para los años subsiguientes con el procedimiento utilizado en este estudio. En cuanto a la decisión de esquemas A, B, C o sus subdivisiones dependerá del criterio distributivo con que se implementan las tarifas de agua potable y alcantarillado.

La estrategia indicada en el punto anterior supone un sistema de seguimiento que debe ser el centro de una política de establecimiento de tarifas<sup>1/</sup>

No se ha juzgado en este estudio la rentabilidad del proyecto de expansión. Tampoco se ha comparado con alternativas como la utilización de aguas subterráneas, el manejo de reservas, mejoramiento de la gestión administrativa u otras medidas que afectan los costos del agua potable y alcantarillado. Si bien no se puede afirmar nada sobre la eficiencia del actual plan de inversiones, sin embargo, debe notarse que en el sistema de tarifas de los cuadros N° 4 a 6, cualquier ineficiencia del plan de inversiones estaría incorporado al cargo fijo mensual.

<sup>1/</sup> Mujica, Rodrigo y Lavanderos, Mónica: Documento de Trabajo N°72 "Análisis Económico de Tarifación de Agua Potable mediante un Modelo de Simulación", Instituto de Economía, Universidad Católica de Chile. 1981.

## APENDICE (Cap.IV)

Relación entre la Demanda por Volumen y la Demanda por Capacidad

Definiendo:

$x$  : volumen de agua demandada en verano en  $m^3$

$k$  : capacidad efectiva del sistema (neta de pérdidas) en  $m^3/\text{seg}$ .

$t$  : tiempo medido en segundos

puede esperarse:

$$x = k \cdot t$$

Si el sistema está operando a plena capacidad de producción, debe cumplirse que si se desea aumentar el volumen consumido en  $\Delta x$ .

$$\Delta x = \Delta k \cdot t \quad \text{ya que } \Delta t = 0$$

$$\text{tambien } \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta k}{k}$$

por otro lado, si se define

$P_x$  = precio por  $m^3$  de agua consumida

$P_k$  = precio por  $m^3/\text{seg}$  correspondiente a:

$$P_k = P_x \cdot t$$

$$\Delta P_k = \Delta P_x \cdot t$$

ya que  $\Delta t = 0$



Luego se multiplican ambos miembros de la ecuación (1) por  $\frac{P_x}{\Delta P_x} \cdot \frac{1}{x}$  resultando:

$$\frac{\Delta x}{\Delta P_x} \frac{P_x}{x} = \frac{\Delta k}{\Delta P_x} \frac{P_x}{K \cdot t} \cdot t = \frac{\Delta k}{\Delta P_x} \frac{P_x}{k} = \frac{\Delta k}{\Delta P_k} \frac{P_k}{k}$$

por lo que la elasticidad precio de la demanda por volumen de agua es igual a la elasticidad de la demanda por capacidad de agua respecto a su precio (capacidad) y al precio por volumen.

## ANEXO 1

MERCADO ESTACIONAL Y LA EVALUACION DE PROYECTOS

Como un ejemplo ilustrativo del tipo de error que se puede cometer al no segmentar un mercado tan estacional como el agua potable, se muestra a continuación cuánto cambia la tasa interna de retorno estimada en 15,8% por una evaluación realizada a un precio anual constante. En el cuadro N°1 se reproduce los flujos de beneficios netos.

Dicha evaluación se ha recalculado con el mismo supuesto, en que el precio por m<sup>3</sup> es de US\$ 0,18 y 0,19, como en el cuadro N° 1, pero sólo para los meses de verano (Diciembre-Marzo), siendo la cantidad de agua vendida en el verano un 41% del total anual (proporción de 1980 para todo el sistema). El agua de invierno (Abril-Noviembre) se vende al costo variable el que se calcula, para no introducir información ajena al ejemplo, dividiendo el costo indicado en dicho cuadro para los años 1985-2014, por el volumen vendido; el costo variable para 1982-84 se supuso igual al de 1985. Como resultado, se obtuvo el beneficio neto que corresponde al ingreso por ventas de verano menos los costos de operación de verano y de inversión de los

COSTOS Y BENEFICIOS FILIA	COSTO TOTAL	MARGINALES VOLUMEN VENDEDOR	A FRECUENCIAS INGRESOS FREC MEDIO /M2	CONSTANTES INGRESOS TOTAL	BENEFICIO NETO
1981	-4.64	0.00	0.18	0.00	-4.64
1982	-1.06	0.00	0.18	1.06	-2.12
1983	-1.64	2.00	0.18	4.06	-2.68
1984	-1.70	4.00	0.18	7.06	-3.24
1985	-1.46	5.00	0.18	9.06	-2.68
1986	-1.51	6.00	0.18	11.06	-2.55
1987	-1.91	7.00	0.18	12.06	-3.15
1988	-1.32	8.00	0.18	14.06	-2.74
1989	-1.74	9.00	0.18	15.06	-3.32
1990	-1.17	10.00	0.18	17.06	-2.89
1991	-1.61	11.00	0.18	18.06	-3.45
1992	-1.06	12.00	0.18	20.06	-2.99
1993	-1.52	13.00	0.18	22.06	-3.54
1994	-1.00	14.00	0.18	24.06	-3.06
1995	-1.46	15.00	0.18	25.06	-3.52
1996	-1.75	16.00	0.18	26.06	-3.81
1997	-1.12	17.00	0.18	28.06	-3.18
1998	-1.12	18.00	0.18	28.06	-3.18
1999	-1.12	19.00	0.18	28.06	-3.18
2000	-1.12	20.00	0.18	28.06	-3.18
2001	-1.12	21.00	0.18	28.06	-3.18
2002	-1.12	22.00	0.18	28.06	-3.18
2003	-1.12	23.00	0.18	28.06	-3.18
2004	-1.12	24.00	0.18	28.06	-3.18
2005	-1.12	25.00	0.18	28.06	-3.18
2006	-1.12	26.00	0.18	28.06	-3.18
2007	-1.12	27.00	0.18	28.06	-3.18
2008	-1.12	28.00	0.18	28.06	-3.18
2009	-1.12	29.00	0.18	28.06	-3.18
2010	-1.12	30.00	0.18	28.06	-3.18
2011	-1.12	31.00	0.18	28.06	-3.18
2012	-1.12	32.00	0.18	28.06	-3.18
2013	-1.12	33.00	0.18	28.06	-3.18
2014	-1.12	34.00	0.18	28.06	-3.18

VALORES PRESENTES A TASAS DE DESCUENTO DE

0.0	=	44.17
5.0	=	149.82
10.0	=	46.30
20.0	=	-15.15

CUADRO N° 1  
 BENEFICIOS NETOS CUANDO EL AGUA DE VERANO E  
 INVIERNO SE VENDE AL MISMO PRECIO

CUADRO N°2  
 BENEFICIOS NETOS CUANDO EL AGUA EN INVIERNO (ABRIL-NOVIEMBRE)  
 SE EVALUA A SU COSTO VARIABLE

Año	Costo Total Menos Costo Variable In- vierno	Volumen Vendido Verano	Precio Verano \$/m <sup>3</sup>	Ingreso Total Verano	Beneficio Neto
1981	-4,64	0		0	-4,64
1982	-36,01	3,93	0,18	0,71	-35,30
1983	-30,50	10,91	0,18	1,96	-28,54
1984	-11,47	18,15	0,18	3,27	- 8,20
1985	- 0,19	21,48	0,19	4,08	3,89
1986	- 0,62	24,62	0,19	4,68	4,06
1987	- 0,78	27,83	0,19	5,29	4,51
1988	- 0,95	31,11	0,19	5,91	4,96
1989	- 1,12	34,48	0,19	6,55	5,43
1990	- 1,30	37,91	0,19	7,20	5,90
1991	- 1,48	41,43	0,19	7,87	6,39
1992	- 1,66	45,03	0,19	8,56	6,90
1993	- 1,85	48,70	0,19	9,25	7,40
1994	- 2,05	52,47	0,19	9,97	7,92
1995	- 2,25	56,32	0,19	10,70	8,45
1996	- 2,77	58,58	0,19	11,13	8,36
1997	- 3,33	58,58	0,19	11,13	7,80
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2014	- 3,33	58,58	0,19	11,13	7,80

n = 34 años

Tasa interna de retorno = 6,65%.

años 1981-84, porque el ingreso por ventas de invierno es igual a su costo variable.

Al cambiar los beneficios netos del proyecto y recalcular la tasa interna de retorno, ésta baja a 6,65%. Debe notarse que esta nueva tasa supone que toda la inversión se hace para aumentar la oferta de agua (vía capacidad o aumento de eficiencia de distribución). El proyecto de referencia contempla parte de su inversión en ítems que, sin afectar la oferta de agua, permiten la conexión de los nuevos usuarios<sup>1/</sup>. Estos ítems son costos relevantes tanto para el agua vendida en verano como en invierno, por lo que asignándola proporcionalmente, se recalculan los beneficios netos considerando que sólo 40% de la inversión total del proyecto se destina a aumentar la oferta de agua<sup>2/</sup>. En este caso la nueva tasa interna de retorno es 9.66%.

Este ejemplo ilustra cómo al no segmentar el mercado en estas condiciones, como corresponde al análisis económico, la tasa interna de retorno de 15,8%, estimada en el cuadro N° 1, representa una sobreestimación significativa, la que será mayor mientras mayor sea la proporción de la inversión destinada a aumentar la oferta de agua.

1/ Ver sección nuevos usuarios en anexo 3.

2/ Para ciertas inversiones es difícil determinar qué proporción es para aumentar la oferta.

El punto indicado muestra un error metodológico de evaluación y, por lo tanto, la necesidad imperiosa de trabajar con demanda segmentada en situaciones similares. La naturaleza de este error, del mismo modo que la falta de análisis tanto del tiempo óptimo de realización del proyecto como sobre la posibilidad de separar diversos componentes de la inversión, puede causar una sobreinversión, lo que obviamente resultaría en una asignación ineficiente de recursos.

ANEXO 2ANALISIS DE NUEVOS USUARIOS

El tipo de modelo utilizado en este estudio considera que los usuarios conectados a la red de agua potable, están compitiendo en la compra de agua potable y de servicios de alcantarillado. La incorporación de nuevos usuarios va a aumentar la competencia por agua con lo cual, si no se aumenta la capacidad de captación, tratamiento y conducción general, el precio va a tender a aumentar cuando se utiliza la plena capacidad del sistema.

Las inversiones requeridas por la incorporación de nuevos usuarios pueden clasificarse en inversiones de tipo general, que sirven para aumentar la disponibilidad de agua en todo el sistema, y de tipo específico, que se realizan para conectar el usuario a la red.

Las inversiones de tipo general refuerzan al sistema como un todo o partes de él, y por lo tanto, sirven a nuevos y antiguos usuarios al aumentar la disponibilidad de agua. Este aumento puede lograrse por mayor captación, tratamiento o eficiencia en la distribución del agua. Al beneficiar a antiguos y nuevos usuarios es lícito proponer que todos de-

ben contribuir a esta inversión.

Las inversiones de tipo específico sólo pueden ser aprovechadas por nuevos usuarios y su mera existencia, no afecta el servicio que reciben los antiguos usuarios. Estas inversiones permiten el acceso al mercado del agua, de los nuevos usuarios, quienes son sus únicos beneficiarios, y por lo tanto, sólo ellos deben contribuir a esta inversión.

Una forma alternativa de clasificar las inversiones, con el mismo resultado, es dividir las inversiones en inversiones que aumentan la oferta de agua del sistema e inversiones que permiten que aumente la demanda de agua del sistema.

Las primeras corresponden a las inversiones generales y las segundas a las inversiones específicas<sup>1/</sup>.

El criterio, entonces, es separar el plan de inversiones en generales y específicas, cobrando a los nuevos usuarios las inversiones específicas de acuerdo a un cargo fijo por conexión. Las inversiones de tipo general se cubren con la renta del sistema (precio de verano menos costos variables)

<sup>1/</sup> Puede pensarse que inversiones que aumentan la oferta de agua a un grupo determinado de usuarios, sin conexión con el resto del sistema constituye una inversión específica, porque en este caso serían como otro sistema separado y como tal deben tratarse.



y el déficit con un cargo fijo.

En el sistema tarifario propuesto no fue posible distinguir entre inversiones generales y específicas, dada la información disponible al realizar el estudio, por lo que el cargo fijo incluyó ambas inversiones. En el caso que pudieran separarse, no cambiarían las tarifas de verano e invierno; sólo variaría el cargo fijo de acuerdo a la categoría de usuario y su localización. Los cargos fijos para nuevos usuarios tenderán a ser mayores que los cargos fijos para los antiguos usuarios del sistema.

## ANEXO 3

RELACION ENTRE LOS COSTOS MEDIOS Y MARGINALES DE CORTO Y LARGO  
PLAZO PARA EL CASO DEL AGUA POTABLE

El caso de utilización de diversos tamaños de plantas y la relación entre los costos medios y marginales de corto y largo plazo, forma parte de los cursos de microeconomía y se considera un área en la que existe consenso, según el clásico artículo de Jacob Viner<sup>1/</sup>.

La aplicación de dicho modelo al caso de un servicio público que, por razones de aumento de demanda debe ir expandiendo la cantidad ofrecida de dicho servicio, ha sido analizado por J. Hirshleiffer et. al. y A. Grima<sup>2/</sup>, y es precisamente esta aplicación al caso de agua potable a la que nos referimos, ya que en nuestra opinión ambos textos contienen un error teórico en la relación de los costos medios de corto y largo plazo.

El problema surge del concepto de que la curva de costo medio de largo plazo es la envolvente de las curvas de costo medio de corto plazo, y son tangentes en el punto de óptimo tamaño de planta. Además, coincide con que el costo marginal de cor  
<sup>1/</sup> Viner, Jacob, "Cost curves and Supply Curves", págs. 198-232 en Stigler, George y Boulding, Kenneth, Readings in Price Theory (Irwin, Chicago, 1952).

<sup>2/</sup> Hirshleiffer, J. etc. al. págs. 94-98 y Grima A. págs. 129-135.

to plazo es igual al costo marginal de largo plazo, ya que en el punto de tangencia los costos medios de corto y largo plazo son iguales, como también sus costos totales.

### Algunas Consideraciones sobre la Naturaleza de los Costos del Agua Potable.

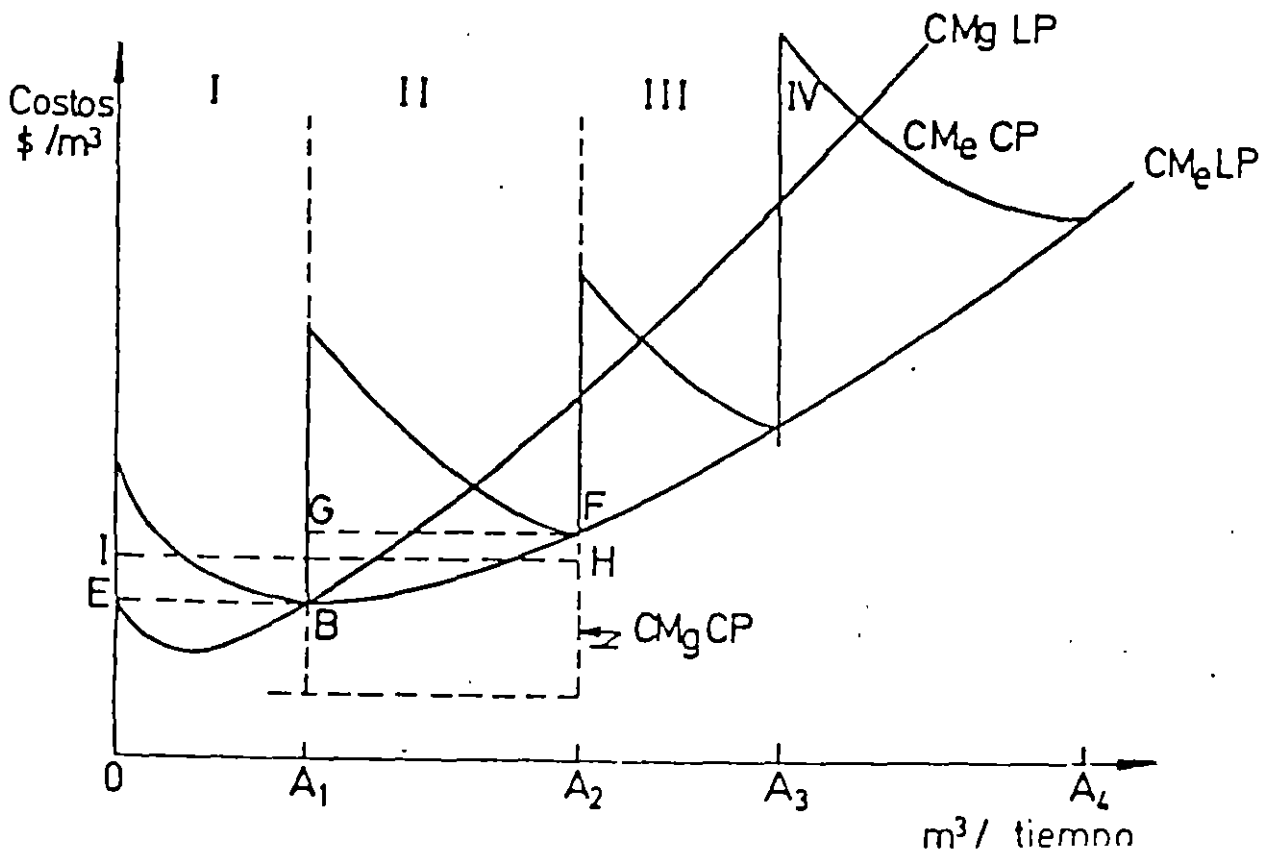
La primera pregunta se refiere a las características de la oferta de agua y, en particular, a si sus costos medios son decrecientes o crecientes. Existe acuerdo en que, en general, las ciudades, especialmente las grandes, primero explotan las fuentes cercanas de provisión de agua y luego, a medida que crecen, debe buscar fuentes más lejanas para aumentar la disponibilidad total de agua.

Por otro lado, una vez que se tienen las instalaciones para obtener agua, es posible aumentar la oferta desde el nivel cero de producción de la planta hasta su plena capacidad con muy poco costo adicional, en cuyo caso el costo medio por planta será decreciente hasta que se alcance plena capacidad.

De esta forma, la posible expansión del sistema puede describirse como una serie de funciones de costos medios decrecientes, cada una mayor que la anterior.

Cada una de esas funciones decrecientes representa el costo medio de cada planta, lo que, en el modelo arriba descrito, se indica en el gráfico siguiente. El costo medio de cada planta es decreciente, desde un máximo igual al costo de inversión hasta un mínimo que se obtiene cuando se ha alcanzado plena capacidad y la inversión se distribuye entre un mayor número de unidades. El costo marginal de cada planta es menor al costo medio (ya que este último está decreciendo) y en el nivel en el cual se alcanza plena capacidad, sube abruptamente hasta alcanzar el costo de la próxima inversión. En el gráfico N°1 se supone que cuando hay capacidad ociosa el costo marginal es constante.

GRAFICO N°1



En cuanto al costo medio y marginal de largo plazo, el análisis de Hirshleiffer y también el de Grima los consideran con el esquema común de las relaciones entre corto y largo plazo. El costo medio de largo plazo es la envolvente, que en este caso es tangente a las curvas de corto plazo, como se indica en el gráfico. El costo marginal de largo plazo es también el indicado en el Grafico N°1<sup>1/</sup>.

El Concepto de Costo Medio y Marginal en un Sistema Secuencial de Uso de Infraestructura.

En el caso del agua potable descrito anteriormente, la segunda planta se realiza para los efectos de ampliar la oferta total de agua y, por lo tanto, las dos plantas están operando al mismo tiempo. La producción total es de  $OA_2$  ( $OA_1$  produce la planta I y  $A_1A_2$  la planta II) y el costo total del sistema es la suma de los costos totales de cada una de las plantas. El costo medio de largo plazo (esto es costo medio del sistema) se define como el cuociente del costo total dividido por el número de unidades producidas y, por consiguiente, si la industria presenta costos crecientes de planta, debido a que cada vez hay que intervenir en proyectos más caros, por ejemplo, los que están situa-  
1/ Hirshleiffer, op.cit. pág. 96 y Grima op.cit., pág. 135.

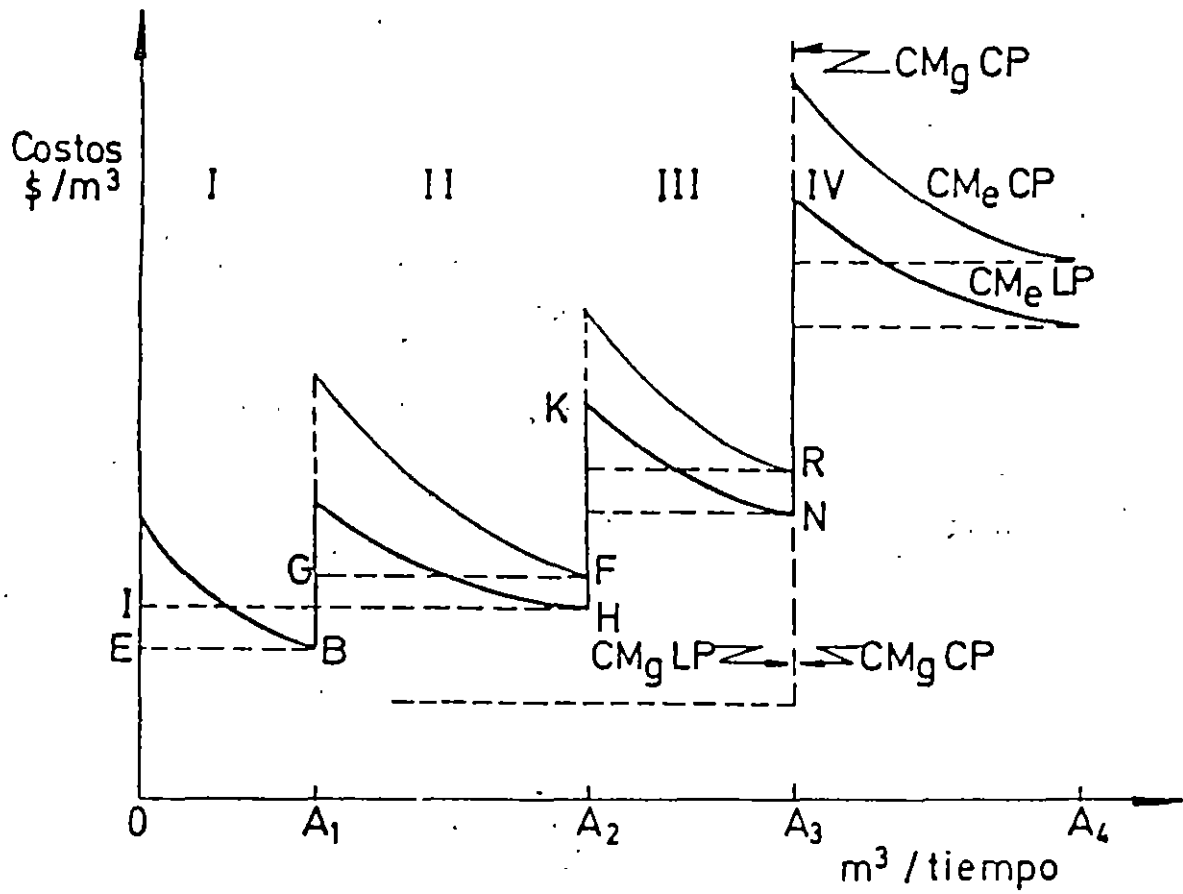
dos en lugares lejanos o menos accesibles, el costo medio así calculado no puede ser igual al costo medio mínimo de la última planta, como indica el gráfico N°1 (Hirshleiffer). Se comprueba que si el costo total de la primera planta es  $OA_1BE$  y de la segunda es  $A_1A_2FG$ , el costo medio de producción de la cantidad  $OA_2$  es  $A_2H$  y, por lo tanto, el costo medio de largo plazo es menor al indicado por Hirshleiffer-Grima. En tal caso el costo medio de largo plazo consistirá en una función quebrada, similar a la de corto plazo, que tiene como característica el que los costos totales del sistema sean iguales a la suma de los costos totales de cada una de las plantas utilizadas para alcanzar dicho nivel de producción en el sistema. Porejemplo para un nivel de producción  $OA_2$  el costo total  $OA_2HI$  es igual a  $OA_1BE$  más  $A_1A_2FG$ , como puede observarse en el Gráfico N°2.

La función de costo medio de largo plazo también está sujeta a discontinuidades como la de corto plazo, aunque sus oscilaciones no son tan bruscas como aquellas, ya que para cada nivel de producción el costo medio de largo plazo está afectado por los menores costos de las plantas anteriores.

El costo marginal de producir una unidad adicional de agua potable que será distribuida en la misma forma que las uni-

dades anteriores, está compuesta de: costo de oportunidad del

GRAFICO N° 2



agua, costo de tratamiento, pérdidas, energía y efluentes. Estos costos pueden suponerse constantes para un gran rango de variación de producción<sup>1/</sup>. En este caso coinciden los costos marginales de corto y largo plazo, siendo constantes cuando hay capacidad ociosa y subiendo abruptamente cuando se logra plena capacidad y es necesario realizar la próxima inversión. El costo marginal de largo plazo crecerá en ese punto hasta el valor de la próxima inversión, el costo marginal de corto plazo también crecerá, pero en forma indefinida, indicando la imposibilidad de aumentar el nivel de producción con la planta existente que se está usando a plena capacidad. Ambos costos marginales cortan a sus respectivos costos medios en el punto mínimo para cada tamaño de planta. Una vez realizada la inversión vuelven los dos a ser constantes e iguales mientras exista capacidad ociosa en el nuevo tamaño de planta.

#### Determinación de un Sistema de Precios.

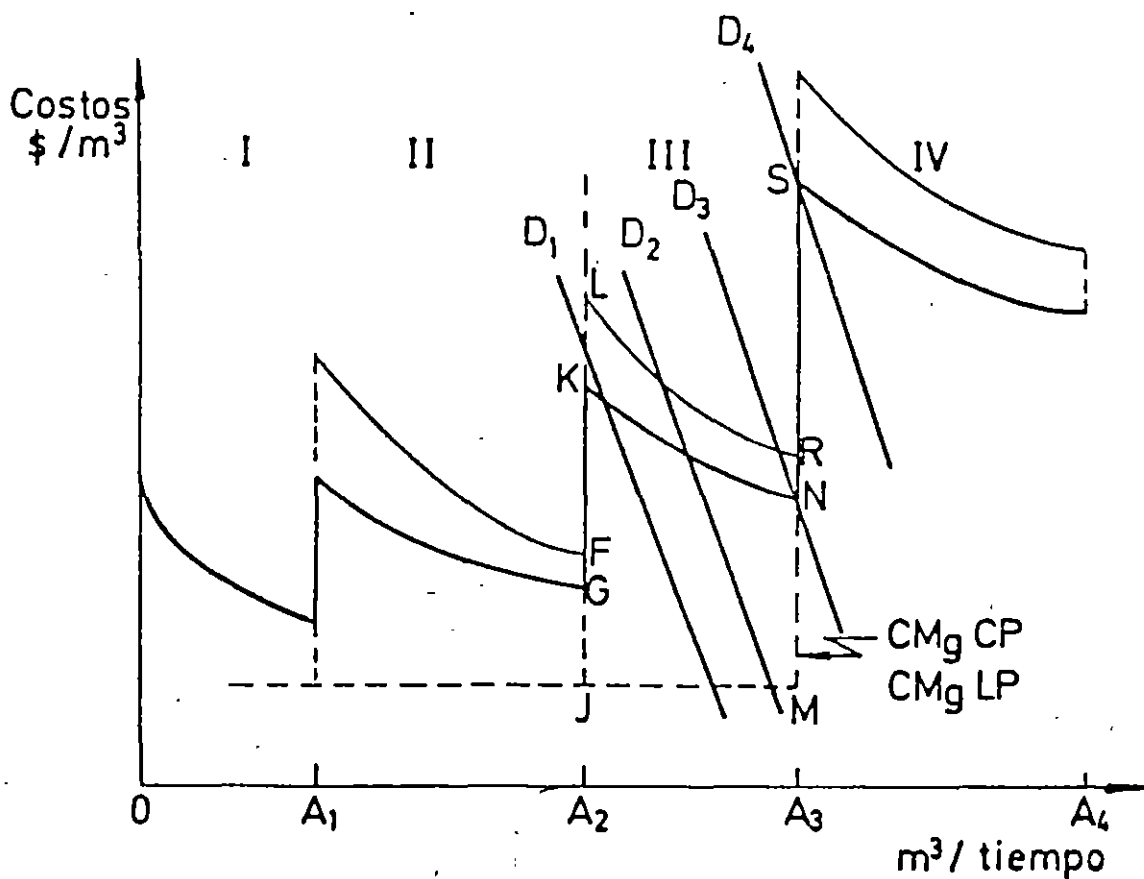
En un sistema como el anteriormente descrito, si se decide cobrar de acuerdo al costo marginal de largo plazo (o de corto plazo), puede observarse en el gráfico N°3 que si la demanda es igual  $D_1$  (siendo LR el costo medio de corto plazo de la planta  $t_i$

<sup>1/</sup> Aunque ésta no es exacta, es una aproximación aceptable para simplificar el gráfico.



po III, KN el costo medio de largo plazo, LJMS la curva de costo marginal de corto y largo plazo), no conviene aumentar la capacidad, ya que el precio que se cobrará es el que iguala la cantidad demandada a la oferta total  $OA_2$  y es menor a  $A_2L$ . Solamente si  $D_1$  crece, y, por lo tanto, corta a la vertical  $A_2$  en un nivel igual a mayor a L, conviene invertir  $A_2L$  para construir la planta tipo III.

GRAFICO N°3



Una vez construida la planta III, conviene cobrar el costo marginal para lograr la máxima eficiencia. Si la demanda es como  $D_2$  se cobrará el precio de acuerdo a costo marginal y existirá un déficit para la empresa. Solamente cuando se alcance el nivel  $D_3$  la empresa no tendrá déficit, e inclusive, dará un superávit cobrando el costo marginal hasta que la demanda alcance el nivel  $D_4$ , en cuyo caso se justifica invertir en la planta IV. Nótese que, a diferencia del criterio de Hirshleiffer, la empresa no tendrá déficits en el tramo NR, a pesar de no cubrir los costos medios de la última planta.

## ANEXO N° 4

## COSTO MARGINAL Y AUTOFINANCIAMIENTO

Si el sistema se encuentra operando a plena capacidad y se desea abastecer a un nuevo consumidor, es necesario que éste desplace a algún usuario antiguo, o bien, que se realice una ampliación de capacidad. Cualquiera sea la solución que se adopte, debe corresponder a aquella de mínimo costo.

El costo de desplazar a otro usuario equivale a la valoración que éste dé a su consumo y, en ausencia de distorsiones y externalidades, corresponde al valor que aquél estaba dispuesto a pagar por aquellas unidades de agua transferidas. En términos gráficos para el tramo correspondiente a esas unidades, se representa por el área bajo la curva de demanda.

El costo de ampliación del sistema corresponde al servicio anual que prestaría el capital "K" requerido para ampliar la capacidad.

El aumento de capacidad del sistema puede ser utilizado en el momento en que se requiere, permaneciendo ocioso (exceso de capacidad) el resto del año. Si existe acuerdo en que el usuario pague por los recursos que utiliza, el responsable del costo de ampliación es aquel que requiere del aumento

de capacidad, y por lo tanto, es durante las "h" horas de operación de éste (horas peak), cuando debe cobrarse dicho costo.

En este sentido, el costo de ampliación de capacidad se comporta como un costo medio fijo, en que mientras mayor sea el número de horas que se ocupa dicha capacidad, menor será el costo por unidad. El precio así determinado, se cobrará a todas las unidades consumidas durante esas h horas, independientemente de que sean producidas con la capacidad anterior, o con la adicional. Cobrando de acuerdo al esquema anterior se llegará a una situación en que los ingresos totales percibidos durante las horas de operación por sobre la capacidad inicial, serán superiores a los costos totales. El superávit de ahí obtenido contribuirá al autofinanciamiento de las inversiones.

La situación descrita anteriormente puede representarse de la siguiente forma:

Sea:

$Xc_0$  : Capacidad inicial del sistema,  $m^3/seg$  .

$Xc_1$  : Capacidad del sistema, incluyendo incremento de capacidad,  $m^3/seg$  .

K : Inversión requerida para ampliar la capacidad del sis-

tema en  $(X_{c_1} - X_{c_0})$ , [ \$ ]

- $r$  : Tasa de retorno del capital.  
 $h$  : Tiempo en que la demanda supera a la capacidad inicial  $X_{c_0}$ , [ seg ]  
 $v$  : Costo variable por  $m^3$  facturado, [ \$/m<sup>3</sup> ]  
 $\omega_p$  : Precio a cobrar por agua potable, [ \$/m<sup>3</sup> ]

El costo adicional durante el tiempo de demanda peak es:

$$(1) \quad C.Ad._{h.p} = r \cdot K + v \cdot h \cdot (X_{c_1} - X_{c_0})$$

De donde el precio a cobrar por cada  $m^3$  consumido en período peak, corresponde a:

$$(2) \quad \omega_p = \frac{r \cdot k}{h \cdot (X_{c_1} - X_{c_0})} + v$$

Por lo tanto, los ingresos totales de la empresa, durante esas horas peak, son:

$$(3) \quad I.T._{h.D.} = \left( \frac{r \cdot k}{h \cdot (X_{c_1} - X_{c_0})} + V \right) \cdot (h \cdot (X_{c_1} - X_{c_0}) + hX_{c_0})$$

Considerando el costo indicado por ecuación (1) y el costo variable de  $hX_{c_0}$ , los ingresos adicionales de la empresa serán:

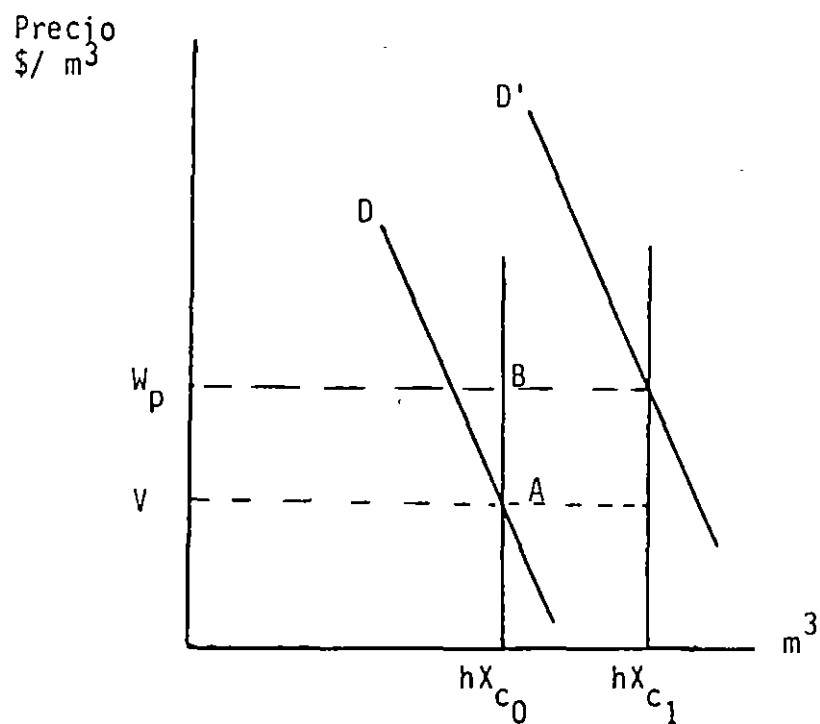
$$(4) \quad I.Ad._{h.P.} = r \cdot K \frac{h \cdot X_{c_0}}{h \cdot (X_{c_1} - K_{c_0})}$$

El ingreso adicional generado por el cobro de costo de capacidad más costo de operación a todas las unidades consumidas durante las horas peak puede verse en el siguiente gráfico donde la demanda  $D$  aumento a  $D'$  y la capacidad aumenta de  $X_{c_0}$  hasta  $X_{c_1}$  de acuerdo al modelo de esta sección. En este caso:

$hX_{c_0}$  : representa el volumen consumido en horas peak usando la antigua capacidad.

$hX_{c_1}$  : es el volumen total consumido dado el aumento de demanda.

GRAFICO N°1



El ingreso adicional para la empresa de agua potable corresponde al área  $VAB W_p$  que representa el exceso del precio sobre el costo variable de proveer  $hX_{c_0}$ .

La expresión (4) puede transformarse en:

$$(5) \quad I.Ad.h.p. = \frac{\frac{r \cdot K}{(X_{c_1} - X_{c_0})}}{X_{c_0}}$$

donde el denominador indica el aumento porcentual de la capacidad del sistema con respecto a la capacidad inicial.

De la ecuación (5) se puede observar que la recuperación del capital de la empresa (incluyendo los intereses del primer año) depende exclusivamente de la relación entre  $r$  y

$\left(\frac{X_{c1} - X_{c0}}{X_{c0}}\right)$  cuando  $r > \left(\frac{X_{c1} - X_{c0}}{X_{c0}}\right)$  en un año se recupera más

capital, cuando  $r < \left(\frac{X_{c1} - X_{c0}}{X_{c0}}\right)$  se requiere más de un año para

recuperar el capital. En caso de igualdad éste se recupera al cabo del año.



## ANEXO N°5

## PERIODOS DE MAXIMA DEMANDA Y CAPACIDAD DE REGULACION.

El propósito de un sistema de cobro que distinga en tre períodos de alta demanda (peak) y períodos de baja demanda (off-peak), es desincentivar, por medio de los precios, el exceso de consumo deseado por sobre la capacidad máxima de abastecimiento y, permitir la ampliación de capacidad cuando el precio iguale a tienda a superar el costo marginal de capacidad.

El primer efecto logrará mejor su objetivo en la medida que se favorezca la posibilidad de trasladar parte del consumo deseado del período peak hacia el período off-peak. Esto se podría conseguir mediante un sistema de tarifas que cobre durante estas horas un precio que, cubriendo los costos de operación, sea lo suficientemente bajo como para tentar al consumidor a trasladarse hacia ellos. Por lo tanto, el precio por cobrar durante el período off-peak tiene que aproximarse lo más posible al costo de operación y no debe ser nunca inferior a éste.

Por otro lado, el precio que se cobre durante el período peak debe ser lo suficientemente alto como para que el

consumo deseado en dicho período no supere la capacidad máxima de abastecimiento del sistema. La cota superior que debe tener dicho precio es la correspondiente a la suma de los costos de operación más el costo marginal de capacidad.

Muchas veces no es posible, por problemas administrativos y de costo de manejo, aplicar exactamente la definición de período peak.

En un sistema de agua potable como el de Santiago, el peak debe producirse principalmente en horas de la tarde, que es cuando se nota una baja en la calidad del servicio (menor presión o falta de agua), ya que en ese momento el riego de jardines y el consumo doméstico alcanza su máximo.

Si el sistema permitiera diferenciar el consumo de acuerdo a la hora del día, el cobrar más en horas peak haría desplazar el consumo deseado de estas horas hacia horas de exceso de capacidad, por ejemplo, horas de la noche y la mañana. Además de aprovechar mejor la capacidad, este criterio de cobro es justo, ya que paga más quien exige más del sistema al consumir en horas de máxima demanda.

### Horas peak y regulación

El hecho que el sistema posea una capacidad de almacenamiento, permite una cierta regulación del sistema durante los períodos de máxima demanda (peak). El contar con una capacidad de regulación diaria, hace que la definición de hora peak se vea un poco alterada, ya que en este caso todo consumo que utilice agua almacenada debe considerarse hora peak.

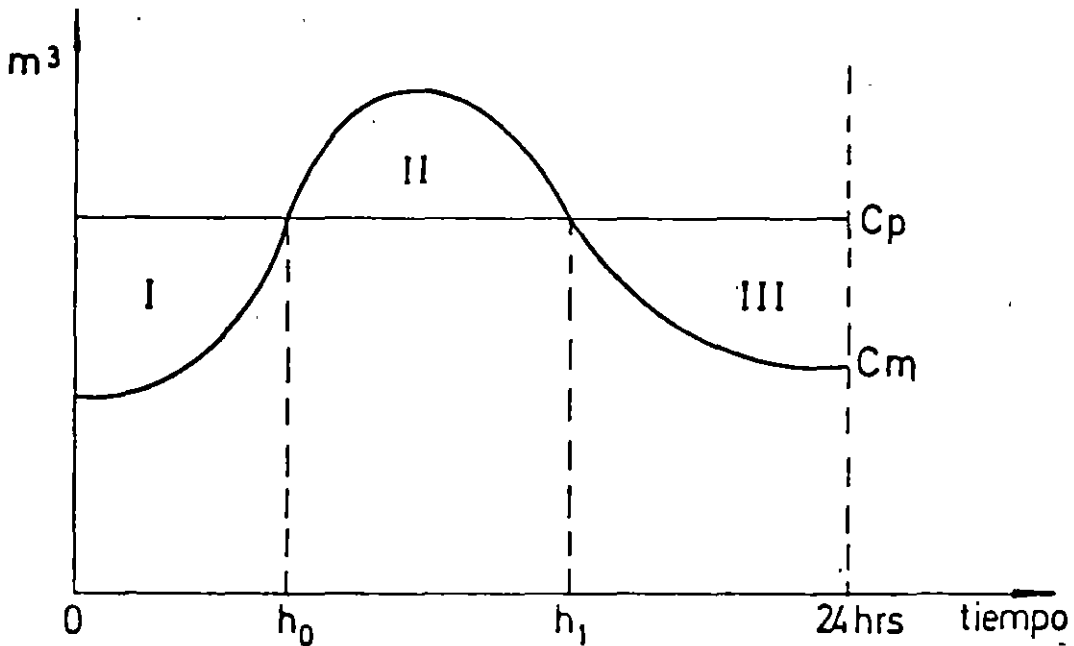
La utilización del almacenamiento debe definirse en un sentido amplio, comprendido no sólo a quienes disminuyen el stock de agua sino también a quienes impiden que aumente, aún existiendo capacidad para almacenar.

El gráfico siguiente ayuda a comprender esta situación.

Sea  $C_m$  el consumo de agua ( $M^3/\text{seg}$ ) en cada instante del día, de modo que el área bajo la curva  $C_m$  indica el volumen de consumo de agua diario.

Sea  $C_p$  la capacidad de captación y tratamiento de agua del sistema, medido en  $m^3/\text{seg}$ , por lo que el área bajo esta curva indicará el máximo volumen que es posible captar y tratar por día.

GRAFICO N°4



Las áreas I y III indican excedentes de agua que es posible almacenar, si se cuenta con la capacidad para hacerlo.

El área II indica el consumo que debe satisfacerse a partir del stock de agua almacenado. En un período de tiempo (día, semana o mes) puede ser  $I + III < II$ , dependiendo del stock acumulado. Obviamente, si el período es largo, por ejemplo de varios meses la capacidad de almacenaje limitada debe ser  $I + III > II$ .

La primera impresión es que las horas peak son las comprendidas entre  $h_0$  y  $h_1$ , y las horas off peak serían las comprendidas entre  $0-h_0$  y  $h_1-24$ . Ahora bien, esta definición es in completa, ya que mientras existe capacidad ociosa de almacenaje, las horas peak son  $0-24$ , puesto que un  $m^3$  consumido a cualquier hora puede almacenarse y satisfacer la demanda peak de otro día dentro del período peak.

## ANEXO N° 6

ANALISIS DE COSTOS<sup>1/</sup>

Para el caso que se está analizando el recurso o factor que se considera limitante es la capacidad máxima de producción. Por lo tanto, se define el corto plazo como aquella situación en la que el sistema está operando bajo plena capacidad, entendiéndose por ello la producción máxima que puede realizar la empresa en condiciones normales y, como largo plazo, a aquella situación en que el consumo está restringido por la capacidad existente.

El modelo utilizado en este estudio de tarifas, el costo marginal<sup>2/</sup> de corto plazo es muy importante para determinar la tarifa de invierno. El costo marginal de largo plazo, aún cuando fue estimado, no tiene el mismo impacto en tarifas. En este sentido, lo importante es el plan de inversiones ya que eso determinará los desplazamientos de oferta y por lo tanto la tarifa de equilibrio en verano. Por otro lado, el valor actual de los costos de inversión comparado con la renta de verano (precios menos costo marginal de corto plazo) indicará el posible déficit de la inversión no cubierto por tarifas y servirá de base para la determinación del cargo fijo.

1/ Este anexo esta basado en el capítulo de costos preparado con Claudio Martínez para el informe "Análisis Económico del Precio del Agua. Tarificación según criterio de Costo Marginal. 1981.

2/ Costo Marginal es el cambio producido en el costo total de producción, como consecuencia de la variación de los niveles de producción en una unidad adicional.

### Costo Marginal de Corto Plazo

Comprende todos los insumos utilizados en la producción de agua, como así también en su distribución y posterior eliminación. La forma de estimarlo fue identificando todas las etapas por las que debe pasar el recurso básico hasta llegar a transformarse en el producto final, comprendiendo la captación, el tratamiento y la purificación, la distribución, el almacenamiento y la regulación, el alcantarillado y la eliminación de efluentes.

La clasificación de costos utilizada fue:

#### a) Costos directos de producción

Depende de los insumos utilizados en las etapas de captación, tratamiento y purificación y que varían con el nivel de producción. Los insumos son energía (en la captación), coagulantes (en el tratamiento) y desinfectantes (en la purificación).

Los costos de estas etapas dependen del tipo de captación, por sus influencias en el consumo de energía y en los niveles de turbiedad y contaminación con que llega el agua

a los centros de tratamiento.

Es muy distinto el nivel de requerimientos de estos insumos en el caso de captaciones de agua superficiales que en el de aguas subterráneas. Por este motivo se subdividió la ciudad en zonas, dependiendo de la fuente de captación utilizada.

#### b) Costos de Energía (Elevación de Agua)

Una vez que el agua ha sido tratada y está en condiciones de ser entregada al consumidor, ésta debe ser transportada y distribuida a los diferentes centros de consumo. Si la distribución del bien se hace por sistema gravitacional, los costos de energía para su transporte de un lugar a otro serán nulos (corto plazo), por lo que no se incrementarán los costos marginales.

Dada la gran extensión y variedad geográfica que puede presentar el área urbana bajo servicio directo de la empresa productora existirán, sin duda, ciertas zonas o localidades para las cuales no será posible utilizar el sistema gravitacional (o sistema directo) y será necesario elevar el agua de alguna manera hacia un estanque central de almacenamiento. Con



la etapa de almacenamiento y regulación se logra una distribución de mejor calidad, por la mayor presión de agua. Para lograr esto, es necesario bombear el agua a un estanque central desde el cual se distribuye posteriormente. Por esta razón se incurre en un costo adicional de energía.

c) Costo de Oportunidad del agua

En la producción de agua potable se utiliza como insumo principal el recurso agua, obtenido de diversas fuentes. Al utilizar este recurso, se está evitando que con él se puedan producir otros bienes de consumo y por ello se está sacrificando una producción alternativa, que debe tenerse en cuenta en los costos marginales totales.

Para el caso agua potable, lo que se está dejando de producir son esencialmente productos agrícolas, por lo que se debe cobrar al usuario el costo de oportunidad del agua para riego.

La determinación del valor del agua de riego se hizo en forma indirecta, o sea, a través de la diferencia de valor entre la tierra con derecho a riego y la de secano. La metodología consiste en determinar el valor neto de la tierra con

derecho a riego y la de secano, a la cual se les ha descontado el valor de las obras y cosechas. Una vez determinada la diferencia de valores, ésta nos indica el valor presente de los derechos de riego. Al multiplicarla por el costo de capital se determina la anualidad del valor del agua y una vez conocida ésta se calcula el valor de la unidad del recurso en la producción alternativa y se le adiciona al costo marginal privado.

d) Costo de la Externalidad de los Efluentes

Luego de ser utilizada por el usuario, el agua retorna al medio ambiente con un alto grado de contaminación la que, al no ser eliminada, provocará una externalidad neta negativa en la comunidad.

Esta externalidad vendrá a través de un aumento de morbilidad y mortalidad , puesto que el agua contaminada que fluye por los ríos será utilizada en riego de hortalizas y otros productos agrícolas, a la vez que será ingerida por personas.

Por consiguiente, el valor de la externalidad puede ser medido indirectamente a través de la utilización de recursos (incluyendo el tiempo) destinados a salud, por efecto

de enfermedades provocadas por la contaminación del agua.

A efectos de tarificación de alcantarillado, es éste el costo relevante a cobrar en el corto plazo que, junto con los costos de operación y mantenimiento del alcantarillado, influye en la determinación de los costos marginales del servicio de alcantarillado relacionado al sistema de agua potable.

#### e) Costo de Pérdidas de Distribución

En la producción de agua potable es necesario que el recurso agua recorra grandes distancias desde el lugar de captación y de las plantas de tratamiento hasta los puntos de abastecimiento. Es precisamente en la etapa de distribución y abastecimiento donde se producen filtraciones y pérdidas considerables, lo cual hace que la eficiencia de producción sea relativamente baja.

Las filtraciones y pérdidas que tienen lugar en la etapa de distribución pueden clasificarse en filtraciones inevitables, a un costo inferior al valor del agua perdida, y en filtraciones evitables.

Solamente las pérdidas inevitables del sistema se incluyen en el costo marginal, ya que son necesarias para el normal abastecimiento de los consumidores.

REPRODUCIDO DE:  
HARBERGER ARNOLD, EVACUACION  
DE PROYECTOS (MADRID, 1973)

CAPITULO NUEVE

**CRITERIOS PARA LA FIJACION DE PRECIOS DE COSTE MARGINAL Y PARA LA INVERSION SOCIAL EN LAS EMPRESAS ELECTRICAS (\*)**

La fijación de precios al coste marginal —que durante muchos años pareció ser un motivo de juego para los teóricos, con poca aplicación a la realidad— ha sido objeto de un creciente y renovado interés en los años recientes, en gran parte como resultado de los esfuerzos de Electricité de France para llevar a la práctica este criterio. En este trabajo pasaremos revista a los principios básicos por los que se rige la fijación de precios al coste marginal para la electricidad, e intentaremos desarrollarlos en lo referente a algunos puntos críticos.

Las razones de por qué la fijación de precios al coste marginal haya permanecido durante tanto tiempo ajena a la toma de decisiones en la práctica, no es difícil de establecer: básicamente parecía que para la electricidad, los transportes y otras relevantes industrias y actividades, la fijación de precios al coste marginal entrañaría una sustancial pérdida financiera a las empresas que intentaran ponerla en práctica. ¿Cuál es el coste de transportar un pasajero extra en un asiento vacío? ¿Cuál es el coste de la energía eléctrica adicional cuando no se está utilizando el sistema a pleno rendimiento? En ambos casos, la respuesta es una cifra bastante más baja de la que cubriría el «coste total»; de aquí el dilema entre fijación de precios al coste marginal con déficit, por una parte, y solvencia presupuestaria con fijación de precios por debajo del óptimo, por otra. Probablemente, la mayor contribución de los economistas franceses en este campo haya sido el demostrar que este

---

\* Este trabajo fue publicado como «Criterios para la fijación de precios de coste marginal y para las inversiones sociales en las empresas de electricidad», Ministerio de Obras Públicas (España), Boletín de Información número 120 (1968). Reimpreso como «Custo marginal e investimento social-criterio aplicavel a energia eletrica», Revista de teoria e Pesquisa Economica (Sao Paulo, Brasil), vol. 1, núm. 2 (1970), pp. 15-21.

dilema puede ser a menudo más aparente que real, que solvencia y optimalidad no necesitan ser objetivos incompatibles o contradictorios.

El problema de la fijación de precios en la electricidad puede abordarse de la mejor manera posible suponiendo un sistema hidroeléctrico del tipo sin almacenamiento. El output de tal sistema vendrá determinado solamente por la naturaleza y su capacidad —dependiendo del caudal de la corriente de agua a volúmenes menores que aquellos asociados con el uso a pleno rendimiento del equipo generador y de la limitación de capacidad para caudales de mayores volúmenes—. Además, entrañará costes de funcionamiento que serán virtualmente cero; y, por supuesto, un intento casual para aplicar la fijación de precios de coste marginal en esta situación pudiera muy bien dar lugar a un procedimiento para valorar toda la electricidad producida por el sistema a un precio (virtualmente) cero. Sin embargo, este planteamiento es correcto sólo a medias; lo apropiado consiste en valorar la electricidad a (virtualmente) cero si la demanda de producción del sistema está por debajo del nivel determinado por la corriente de agua o la capacidad generadora y cobrar el precio necesario para racionar la energía disponible entre los usuarios siempre que la demanda a un precio próximo a cero supere aquel nivel. Dado que la demanda de electricidad varía ampliamente entre las horas del día, surge la posibilidad de que durante algunas horas la electricidad sea prácticamente un bien gratuito, pero durante otras supondría un precio relativamente alto. Además, el precio tendría presumiblemente que variar a través del período en que estuviera por encima del coste marginal de explotación, porque habría de cumplir la función de hacer que la cantidad demandada fuera la misma para todas las horas del día. (Una central hidroeléctrica que no almacene la energía experimentará significativas variaciones estacionales en la corriente de agua, pero no variaciones dentro del mismo día.)

El exceso del precio sobre los costes marginales de explotación tiene la naturaleza de una renta económica; es imputable a la escasez de agua en aquellas horas en las que el output del sistema viene limitado por el volumen de agua, e imputable también a la limitación de capacidad generadora para los períodos en que la capacidad es el factor limitativo de la producción. Esta renta económica puede ser considerada como un componente del coste marginal a corto plazo del suministro de electricidad a cualquier usuario dado desde el momento en que,

suponiendo que el sistema está operando a su capacidad máxima, la única manera de satisfacer un incremento de la demanda de electricidad por parte de un consumidor es el disminuir la cantidad suministrada a cualquier otro, presumiblemente a través de un pequeño aumento de precio que nuevamente limitaría la demanda a la capacidad. Y es precisamente en este sentido en el que cobrar un precio más alto que el coste marginal de explotación es compatible con el principio general de fijación de precios de coste marginal.

## II

El análisis anterior está basado en la suposición de una capacidad dada, pero el producto final de ese análisis —las rentas económicas originadas como consecuencia de las limitaciones en la capacidad— viene a convertirse en el elemento clave que gobierna las decisiones respecto de los cambios en la capacidad. Por ejemplo, una adición a la capacidad generadora de un sistema hidroeléctrico sin almacenamiento existente se podrá sumar al output de electricidad solamente en aquellas horas del año en que, en ausencia de esta adición, el factor de limitación hubiera sido la capacidad. El valor de cada kilovatio-hora de producción imputable de esta manera a la nueva capacidad será el precio correspondiente a la hora en que es generado; y el flujo de ingresos asignable como producto de la inversión en capacidad adicional será el exceso del precio sobre el coste marginal de explotación —esto es, precisamente la renta económica a la que nos hemos referido anteriormente—. Según la magnitud de la renta económica incorporada al precio de la electricidad por las horas del año adecuadas, la inversión en una ampliación de la capacidad se demostrará como justificada o no (para un criterio dado de tasa de retorno del capital).

En la práctica es evidentemente imposible aplicar precios de electricidad que varíen cada hora del año, de forma que se pueda cumplir **completamente** la función de racionar la capacidad disponible entre los usuarios en todo momento. Sin embargo, sí es posible aproximarnos a la consecución de este objetivo mediante el establecimiento de diferentes precios para los usos de la electricidad en las horas de carga máxima y carga mínima. La carga máxima viene determinada en gran medida por las características de la demanda del sistema —concentrándose en las horas diurnas de los días laborables de la semana, cuando la demanda industrial es dominante, y en las horas de la noche en que lo predominante es el consumo do-

méstico—. Supongamos que un sistema está integrado por plantas térmicas idénticas, teniendo que hacer frente a una creciente demanda de electricidad, con una carga máxima de, por ejemplo, 2.500 horas al año, concentradas en las horas diurnas de los días laborables de la semana. Si trabajamos con una capacidad dada, nuestro objetivo sería cobrar el coste marginal de explotación para la electricidad en las horas de carga mínima y establecer una sobrecarga para el consumo diurno de electricidad justo lo suficientemente alta como para contener la demanda dentro de los límites de capacidad del sistema. Sin embargo, si estamos operando dentro de un contexto dinámico, siendo posible variar la capacidad a través de la inversión, no necesitamos preocuparnos en forma directa respecto del racionamiento de la capacidad disponible, sino que, en su lugar, habríamos de establecer una sobrecarga para el consumo en las horas punta hasta obtener la tasa de retorno necesaria de las nuevas adiciones a la capacidad. Así, si el coste de la nueva capacidad fuera de 250 dólares por kilovatio instalado y la tasa de retorno necesaria fuera del 7 por 100, más un 3 por ciento por depreciación, necesitaríamos conseguir una renta económica de 25 dólares al año por kilovatio instalado, lo que se podría conseguir vía una sobrecarga de un centavo por kilovatio-hora sobre todos los kilovatios-hora vendidos durante las 2.500 horas punta de explotación durante el año. Si se ampliara la capacidad de manera regular hasta cubrir la demanda prevista de acuerdo con esta regla, sucedería que: a), cobraríamos el coste marginal de explotación en horas de carga mínima y, en este sentido, fijaríamos el precio según el coste marginal; b), cobraríamos el coste marginal, más una renta económica suficiente, para mantener la demanda por debajo de la capacidad del sistema en las horas punta, y c), lograríamos obtener la tasa de retorno adecuada del capital invertido.

El incremento secular en la demanda de electricidad, junto con la reducción gradual del número de emplazamientos hidroeléctricos no explotados y la creciente tendencia de combinar los sistemas de generación de energía eléctrica en grandes redes, ha llevado a una situación en la que los costes térmicos constituyen el factor dominante que rige las decisiones de fijación de precios a nivel óptimo. Supongamos, en el ejemplo anterior, que los costes marginales de explotación en las plantas térmicas fueran de un centavo por kilovatio-hora. Entonces, los precios óptimos serían de dos centavos por kilovatio-hora para las 2.500 horas punta y de un centavo por kilovatio-hora para las restantes 6.260 horas de carga mínima del año. En función de esos precios se puede ya juzgar la rentabilidad de cualquier proyecto hidroeléctrico dado.

Un proyecto hidroeléctrico sin almacenamiento que cueste 1.000 dólares por kilovatio de capacidad instalada poseería un rendimiento máximo potencial de 62,60 dólares por año para las horas de carga mínima, más 50 dólares por año para las horas punta, y un ingreso real algo menor a causa de los períodos en que el factor de limitación sea el flujo de agua en lugar de la capacidad instalada. Suponiendo que los costes de explotación sean insignificantes, y utilizando el 7 por 100 como la tasa de retorno requerida, más un 2 por 100 por depreciación en este caso, la rentabilidad del proyecto dependería de que el grado de utilización medio esperado de la capacidad generadora fuera mayor o menor que el 80 por 100 ( $112,60 \times 0,08 = 9,08$  dólares). Este tipo de cálculo, basado en costes térmicos, continúa siendo válido en tanto en cuanto algunas plantas térmicas se mantengan en continuo funcionamiento. Si se dispusiera de suficiente capacidad hidroeléctrica sin almacenamiento, de forma que desplazara por completo la explotación térmica durante, por ejemplo, las 2.000 horas de demanda más baja del sistema en el año, entonces la política de fijación de precios a nivel óptimo sería cobrar (virtualmente) cero para la energía vendida durante estas 2.000 horas, cobrar dos centavos de dólar por kilovatio-hora de energía vendida durante las 2.500 horas de funcionamiento en períodos de carga máxima y cobrar 0,01 dólares (el coste marginal de las centrales térmicas) durante las restantes 4.620 horas del año. En tanto que todas las centrales térmicas sean idénticas, y siempre que se necesite una ampliación de la capacidad térmica para cubrir al menos parte del incremento secular de la demanda, nunca serán precisas más de estos tres tipos de tarifas para un esquema de fijación de precios a nivel óptimo.

### III

En esta sección estudiaremos, todavía bajo la hipótesis de capacidad térmica homogénea, cómo se pueden medir los beneficios de tipos de proyectos hidroeléctricos distintos de los de sin almacenamiento. Por cuestión de simplicidad supondremos que tan sólo son adecuadas dos tarifas —una para horas de carga mínima de un centavo por kilovatio-hora y otra para las horas de carga máxima de dos centavos por kilovatio-hora—. De manera semejante, cuando sea necesario especificar el número de horas de carga máxima, continuaremos suponiendo que son 2.500 al año.

## Reservas diarias de energía.

La principal utilidad de las reservas diarias de energía consiste en esencia en la conversión de energía en horas de carga mínima en energía para las horas de carga máxima; un beneficio de carácter secundario es la utilización de agua que de otra manera se desperdiciaría. Consideremos, en primer lugar, la función de conversión en un proyecto hidroeléctrico sin almacenamiento; por definición, el volumen y tiempo de la generación de energía eléctrica viene regido por el volumen y comportamiento temporal de la corriente de agua que se va a utilizar. Constituye una necesidad virtual el que la mayor parte de esta energía se produzca durante las horas de carga mínima. Sin embargo, si se construyera una pequeña presa adyacente a la del proyecto y si se montara una red suficiente de turbinas y de compuertas para disponer durante todo el día de la corriente de agua de manera que se adecuara a la producción de los períodos de carga máxima, entonces se podría utilizar durante las veinticuatro horas del día la corriente de agua a efectos de consumo máximo.

El segundo tipo de beneficio que surge como consecuencia de la adición de una reserva diaria y del equipo generador asociado a un proyecto hidroeléctrico existente sin almacenamiento es la reducción probable de la cantidad de agua que se «desperdicie». Se ve claramente que jamás va a ser rentable (o casi nunca) el montar la suficiente capacidad de tratamiento para el máximo de corriente de agua en un proyecto hidroeléctrico sin almacenamiento. Sin embargo, cuando el proyecto se amplía con una reserva diaria, es probable que sea capaz de tratar de manera virtual toda la corriente anual de agua —en períodos de corriente de agua relativamente moderados existe la probabilidad de que se pueda utilizar todo el agua para las horas de carga máxima, en tanto que cuando la corriente se aproxima a su máximo anual, el pleno rendimiento de capacidad generadora puede ser utilizada durante las horas de carga máxima y parte del agua en períodos de carga mínima.

## Almacenaje por bombeo.

El almacenaje por bombeo representa tal vez la frontera más excitante de la ingeniería eléctrica hoy día. Aunque sus principios son conocidos desde hace muchos años, se ha transformado en una cuestión más económica con el advenimiento de la energía nuclear y la capacidad de desarrollo de centrales térmicas por combustión de gas-oil que por consideraciones

prácticas exigen un funcionamiento continuo. En cierto sentido, el almacenaje por bombeo es simplemente una ampliación de la idea de la reserva diaria. Sin embargo, en lugar de almacenar la corriente del día por medio de una pequeña presa a fin de ser utilizada en las horas punta, un proyecto de almacenaje por bombeo almacenaría la cantidad de agua correspondiente a uno o dos meses mediante dos pantanos mucho mayores —uno antes y otro después de las instalaciones de generación de electricidad—. Durante las horas punta del día, el agua pasa de la presa que está antes de las instalaciones a la que está después, a través de las turbinas, al objeto de producir la energía necesaria para ese período de carga máxima; durante las horas de carga mínima se utilizaría energía térmica barata o energía nuclear para bombear el agua en sentido inverso. No es preciso decir que cuesta más de un kilovatio-hora de energía el bombear hacia atrás la cantidad de agua necesaria para producir un kilovatio-hora; pero si el bombeo se hace con un gasto de 0,01 dólares por kilovatio-hora de electricidad y si se utiliza el agua para producir 0,02 dólares por kilovatio-hora de energía, existe un amplio margen para hacer económicamente válida una operación que en términos puramente físicos posee un output neto negativo (esto es, utiliza más energía de la que produce).

## Almacenaje estacional.

El almacenaje estacional es la función desempeñada por los pantanos que acumulan agua en la(s) estación(es) húmeda(s) y la utilizan para producir energía durante la mayor parte del año. Al objeto de poder valorar un proyecto de almacenaje estacional debemos conocer qué cantidad de electricidad habrá de generarse en las horas punta y cuánta en las de carga mínima. Para responder a esta cuestión pasemos a examinar dos métodos alternativos de organizar un sistema que contenga a la vez capacidad térmica e hidroeléctrica de almacenaje estacional. Para simplificar supongamos que se da la capacidad de almacenaje estacional (esto es, ya se ha construido el pantano) y que el diseño de la presa permite con facilidad incrementar instantáneamente su capacidad generadora mediante la instalación de turbinas adicionales. Las figuras 9.1 y 9.2 muestran las dos estrategias alternativas de utilización de una cantidad dada de capacidad de almacenaje estacional en un sistema mixto hidro-térmico. Ambos diagramas representan la «curva de carga» de un sistema hipotético. En esta curva, las diversas horas del año se han dispuesto en orden descendente de demanda de electricidad (bajo una estructura tarifaria dada).

FIGURA - 9.1

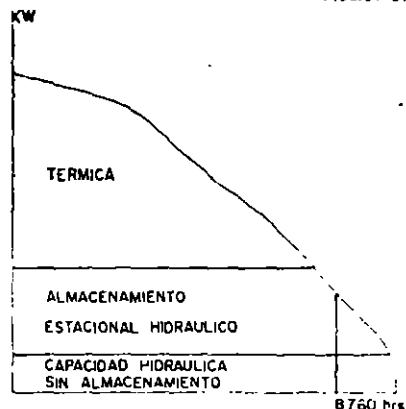
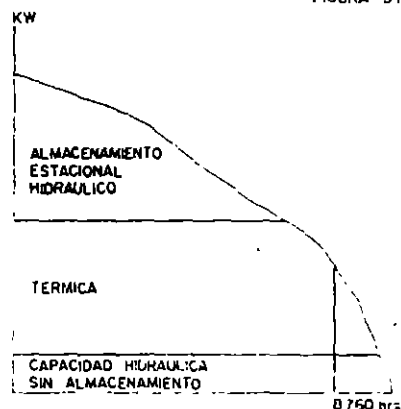


FIGURA - 9.2



La figura 9.1 representa una estrategia operativa de acuerdo con la cual tan sólo se utiliza la capacidad hidráulica sin almacenamiento en las horas de menor demanda, se introduce el almacenaje estacional hidráulico solamente cuando la capacidad anterior es totalmente utilizada y se usa la energía térmica tan sólo cuando ambos tipos de plantas generadoras operan a plena capacidad. En la figura 9.2, la capacidad hidroeléctrica sin almacenamiento continúa ocupando la base del sistema, pero los papeles de la capacidad térmica e hidráulica de almacenaje estacional están invertidos, asignándose ahora al almacenaje hidráulico la tarea de cubrir la demanda de las horas punta. Se han confeccionado las cifras de manera que el número total de kilovatios-hora generados por cada tipo de capacidad sea la misma en ambos gráficos —esto es, el área del triángulo correspondiente a la capacidad térmica en la figura 9.1 es la misma que la del trapecoide que representa la capacidad térmica de la figura 9.2, y lo mismo se puede decir de las capacidades de almacenaje estacional y de la hidráulica sin almacenamiento, respectivamente—. Se explica esto de la forma siguiente: la capacidad hidráulica sin almacenamiento existente, que posee un coste de oportunidad menor que cualquiera de los tres tipos, será utilizada hasta los límites determinados bien por el agua o por los equipos de producción de energía bajo una u otra estrategia de gestión del sistema; por tanto, el número de kilovatios-hora producidos por esta fuente sería el mismo en ambos casos. De manera semejante, la producción de la reserva estacional, que viene determinada por su capacidad de almacenaje, será con toda probabilidad la misma bajo

ambas estrategias de gestión de sistema<sup>102</sup>. De aquí que la cantidad de energía térmica necesaria, al ser el área total bajo la curva de carga menor que la correspondiente a los dos tipos de energía hidroeléctrica, deba ser también la misma en los dos casos.

Dado que las cantidades de energía tomada de cada una de las tres fuentes son las mismas en ambos casos, hay que indagar acerca de los costes relativos asociados a las dos estrategias. La estrategia representada por la figura 9.1 tiene más capacidad térmica y menos capacidad hidráulica de turbina instalada en los pantanos estacionales que la estrategia representada por la figura 9.2. Desde el momento en que la capacidad hidráulica de la turbina es sustancialmente más barata por kilovatio que la capacidad térmica por gas-oil, se sigue que es preferible la estrategia de la figura 9.2. Esto se mantiene a fortiori cuando son consideradas las diferencias en el coste de explotación, porque cuando se utiliza la energía térmica para hacer funcionar las plantas a su capacidad máxima, éstas han de ser puestas en marcha y ralentizadas con mucha más frecuencia que cuando la capacidad térmica ocupa la posición intermedia en la curva de carga. Los costes de puesta en marcha y ralentizaciones son así minimizados bajo la segunda estrategia, porque estos costes son en esencia nulos para la energía máxima obtenida de la reserva estacional.

Por tanto, la localización «natural» del almacenaje estacional hidráulico se halla en la parte más alta de la curva de carga, y su función natural es la de proporcionar energía a horas de carga máxima<sup>103</sup>. En consecuencia, el precio adecuado para valorar el output de un proyecto de almacenaje hidráulico es el precio de la elasticidad a horas punta. Sin embargo, un nuevo elemento entra en escena cuando se hallan disponibles sustanciales cantidades de capacidad de almacenaje estacional. Este elemento es que el número adecuado de horas al año para el

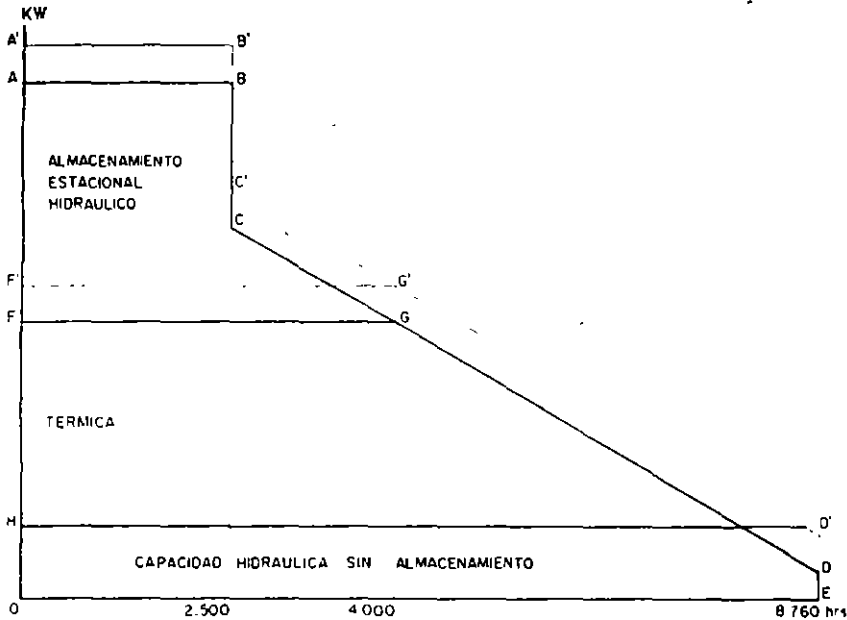
<sup>102</sup> Una pequeña salvedad consiste en que cuando el pantano se encuentra lleno puede, en efecto, convertirse en un proyecto hidroeléctrico sin almacenamiento; si sucede esto y la capacidad de generación instantánea implicada en el caso de la figura 9.1 es insuficiente para utilizar la corriente total de agua en este momento, entonces la cantidad total de energía generada por la segunda estrategia superará a la que se puede obtener con la primera.

<sup>103</sup> Pueden darse excepciones de distintas maneras; por ejemplo, (i) la demanda estacional máxima puede producirse en la época de lluvias cuando el pantano está lleno y está funcionando esencialmente sobre una base de no almacenamiento; (ii), el agua puede ser liberada en momentos no óptimos desde el solo punto de vista de generación de energía (porque el pantano posea múltiples objetivos y deba atender, por ejemplo, a necesidades de irrigación también).



establecimiento de la sobrecarga en horas punta se convierte ahora en el número de horas de «máximo nivel térmico», más bien que en el número de horas de «máximo nivel del sistema». En la figura 9.3 se ha dibujado la curva de carga inicial A B C D E exagerando el nivel máximo del sistema, de manera que resalte la cuestión principal aquí implicada. Si, con una capacidad dada de almacenaje hidráulico estacional, aumenta la demanda de energía hasta A' B' C' D' E, la respuesta normal del sistema sería incrementar la capacidad térmica de HF a HF'.

FIGURA 9.3



La nueva capacidad, que aquí se supone homogénea respecto de la antigua, sería utilizada durante 4.000 horas al año, en vez de serlo durante las 2.500, como sucedería en el caso de ausencia de almacenaje estacional, viniendo representados los kilovatios-hora extras de producción por el rectángulo FF'G'G. Si entonces, como en el ejemplo de la sección II, un kilovatio de capacidad térmica requiere una renta económica anual de 25 dólares, esto se reflejaría en una sobrecarga de 0,06 dólares por kilovatio-hora, ampliando a 4.000 horas el nivel térmico máximo.

La situación cambia de manera radical cuando se tienen en cuenta las variaciones en la eficacia de las centrales térmicas. En este caso, el precio óptimo a cobrar en cualquier hora es el coste marginal de explotación de la central térmica más antigua (la menos eficaz) que se halle en funcionamiento durante esa hora. Esto supone, por supuesto, que cuando se necesita energía térmica se utilizan, en primer lugar, las centrales térmicas más eficaces, luego las que las siguen en eficacia y así sucesivamente. Pero, evidentemente, en este caso ya no estamos sujetos a la limitación de sólo dos o tres precios; en principio, al menos, se exige una variación relativamente más continua en el precio. Además, en el caso de que se hallen disponibles suficiente número de centrales «antiguas», pudiera no ser preciso en este caso el racionar la capacidad disponible entre los usuarios. La fijación de precios según el coste marginal de explotación de la central marginal en uso constituye el único criterio a aplicar, excepto cuando se utiliza por completo la capacidad existente, y si la aplicación de esta norma nos deja en todo momento con una significativa cantidad de capacidad no utilizada (pero antigua y de coste alto), no se ve la razón de ir más allá de la regla del coste marginal de explotación.

En casos de este tipo, los beneficios imputables a una inversión para nueva capacidad vienen a convertirse en economías en los costes del sistema que la inversión hace posible. Sea  $C(k)$  el coste marginal de explotación de una central instalada en el año  $k$  y  $H(k, t)$  el número de kwh de producción para el año  $t$ , en virtud de la cual una nueva central podría sustituir a las centrales construidas en el año  $k$ . El beneficio previsto a devengar en el año  $t$  de una nueva central cuyo coste marginal es  $C(j)$  es

$$\sum_{k=1}^{j-1} H(k, t)[C(k) - C(j)]$$

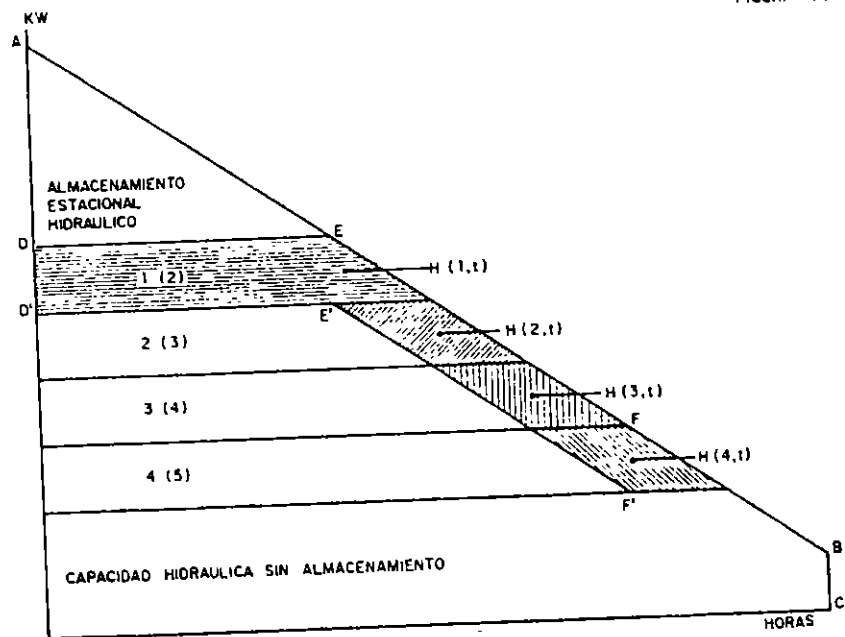
y el valor actualizado de los beneficios esperados es

$$\sum_{t=j+1}^{\infty} \sum_{k=1}^{j-1} H(k, t)[C(k) - C(j)](1+r)^{-t}$$

Ha de emprenderse la inversión en una central con costes  $C(j)$  siempre y cuando esta expresión supere al coste de capital de la central (acumulado para el año  $j$ ), lo cual implica que las inversiones posteriores se han de regir por la misma norma.

En la figura 9.4 se representa la deducción de  $H(k, t)$ . La curva superior trazada (ABC) representa la curva de carga que se espera prevalezca en el primer año de funcionamiento potencial del nuevo proyecto. Los números 1, 2, 3 y 4 indican las posiciones de las centrales térmicas de las distintas épocas (siendo la central 1 la más antigua y menos eficiente y la central 4 la más moderna y la más eficaz) que se distribuirían por la curva de carga en ausencia de la central 5 (aquella cuya construcción se está contemplando).

FIGURA - 9.4



Los números (2), (3), (4) y (5) representan las posiciones que las centrales respectivas ocuparían si realmente estuviera construida la planta 5. Lo que sucede en ese caso es que la central 5, ahora la más eficaz, ocupa la base de la estructura térmica, estando situada la central 4 en la posición inmediatamente superior, y así sucesivamente. En el caso que se representa, la central 1 quedaría desfasada y desplazada por completo en presencia de la central 5. Las zonas sombreadas representan el número de kwh,  $H(k, t)$  en cuya producción la planta 5, caso de estar construida, sustituiría de manera efectiva a las plantas 4,

3, 2 y 1 respectivamente (estando situada la línea D'E'F' por debajo de la DEF, representando la diferencia la cantidad de capacidad de la nueva central).

Los beneficios asociados a una nueva central es probable que vayan disminuyendo con el tiempo. A medida que se van construyendo centrales cada vez más nuevas y eficaces, se irán encargando de la base de carga del sistema y dejarán que la central que posea costes  $C(j)$  entre en funcionamiento solamente cuando la demanda del sistema exceda a las capacidades combinadas de todas las instalaciones más recientes. Los beneficios imputables a la inversión en la central  $C(j)$  aparecen únicamente cuando el precio de la electricidad se sitúa por encima de sus costes de explotación; o sea, tan sólo cuando las centrales con mayores costes fueran las marginales en su ausencia. Cuando la central es nueva está produciendo beneficios permanentemente, pero cuando envejece y es sustituida en la base del sistema por centrales más eficaces produce beneficios tan sólo durante algún período de tiempo. Además, según va pasando el tiempo, es probable que las centrales más antiguas que se hallaran en existencia en el año  $j$  serán por completo abandonadas [ $H(k, t)$  sería entonces igual a cero para una  $k$  de esta clase], acentuándose la tendencia de disminución de la corriente de beneficios a través del tiempo.

Las trayectorias temporales del precio, producción, inversión, etc., representan la solución a un complejo problema de programación dinámica. Sin embargo, el criterio clave de inversión puede representarse en forma muy simple suponiendo que la función

$$B(j, t) = \sum_{k=1}^{j-1} H(k, t) [C(k) - C(j)]$$

disminuye exponencialmente a través del tiempo a una tasa anual de  $\gamma$ . Podemos entonces escribir el valor actualizado de los beneficios de una inversión efectuada en el momento  $j$  como

$$\frac{B_{j+1}}{1+r} + \frac{B_{j+1}(1-\gamma)}{(1+r)^2} + \frac{B_{j+1}(1-\gamma)^2}{(1+r)^3} + \dots$$

una serie infinita que es igual a  $B_{j+1}/(r+\gamma)$ . De aquí se sigue la necesidad de que los beneficios previstos deban ser, en el primer año completo de funcionamiento de un proyecto,  $(r+\gamma)$  veces el costo del capital del proyecto (al menos desde el momento en que el planteamiento anterior supone una vida infinita para el proyecto y no hace ninguna dotación directa para depreciación o «extinción»).

Pueden surgir situaciones en que para una gama de producciones el precio de la electricidad deba ser igual al coste marginal de explotación de la central marginal en cada output, pero en las que para otra gama deba aplicarse una sobrecarga sobre este coste marginal de explotación. Tales situaciones se dan cuando, y solamente cuando, el valor actualizado de los beneficios imputables a una ampliación de capacidad térmica bajo la norma del coste marginal de explotación, deducida en la sección anterior, es menor que el coste de capital de esa ampliación y cuando la regla del coste marginal de explotación conduciría a la explotación del sistema a plena capacidad, al menos durante algún tiempo. El sentido común de esta condición está claro: si el valor actualizado de los beneficios excede al coste de capital de un nuevo proyecto, cuando se miden tales beneficios por las diferencias habidas entre los costes de explotación de las centrales antiguas y los de la nueva, esto es, según la fórmula

$$\sum_{t=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{j-1} H(k, t) [C(k) - C(j)] (1+r)^{t-1}$$

entonces es preciso la construcción de la nueva planta, incluso si la capacidad existente no se espera que sea utilizada en la actualidad ni en el futuro en forma total. En este caso, la ausencia de utilización plena de la capacidad existente es imputable al hecho de que es más barato incurrir en costes marginales de explotación más cargas de capital en la nueva planta que incurrir en los costes marginales de explotación de algunas centrales muy viejas que puedan existir. En este caso las plantas muy viejas permanecen en situación de submarginales en todo momento. Sin embargo, si el valor actualizado de los beneficios de la nueva central fuera menor que su coste de capital, es preferible incurrir en un coste marginal de explotación de las centrales adicionales (normalmente sin utilización) más antiguas que invertir en equipo generador nuevo.

No obstante, si se utiliza ahora toda la capacidad generatriz, al menos durante algunas épocas del año, y si los beneficios (calculados sobre la base de los costes marginales de explotación de las instalaciones existentes) son inferiores a los costes de capital del nuevo equipo, el procedimiento indicado es posponer las nuevas inversiones y utilizar el precio para racionar la electricidad durante aquellas horas en que el sistema se está utilizando a plena capacidad. En una situación en la que la demanda esté creciendo, el precio necesario para racionar la capacidad existente aumentará con el tiempo, y también crecerá

el número de horas durante las cuales las centrales más antiguas sean las centrales marginales en uso. Por tanto, la fórmula para medir los beneficios del primer año de inversión en una ampliación de capacidad,

$$\sum_{k=1}^{j-1} H(k) [C(k) - C(j)]$$

varía a través del tiempo: (a), porque ahora sustituimos  $C(1)$  por  $R(1)$ , el precio que racionará la capacidad existente entre los usuarios en momentos de carga máxima del sistema, un precio que aumenta por sí mismo con el tiempo; y (b), porque conforme pasa el tiempo y crece la demanda,  $H(k)$  aumentará para las centrales más antiguas existentes con grandes diferencias de coste  $[C(k) - C(j)]$ , y disminuirá para las centrales más nuevas con menores costes diferenciales.

Conforme transcurre el tiempo, por tanto, se alcanzará un punto en el que se hace rentable invertir en la nueva capacidad, y en el caso sometido a consideración, la estructura de las tarifas en este punto constará de los costes marginales de explotación de la central marginal en todos los puntos de insuficiencia de la capacidad del sistema y del coste marginal de explotación de la central menos eficaz más una sobrecarga por hora de carga máxima en los momentos en que se utilice toda la capacidad del sistema.

## VI

Consideraciones de tipo práctico impiden la total puesta en práctica de las reglas de fijación de precios de coste marginal, pero sin embargo pueden efectuarse aproximaciones muy cercanas. Electricité de France opera con cinco tarifas básicas: una tarifa para las «horas muertas» del verano, una tarifa para las «horas muertas» del invierno, una tarifa para las «horas de máxima actividad» del verano, una tarifa para las «horas de máxima actividad» en invierno y una tarifa para las «horas punta» del invierno. Esta última es la más elevada, ascendiendo al triple de la tarifa más baja, lo que indica que el grado de variación es verdaderamente sustancial.

Otro compromiso que impone la práctica es la consideración de una cierta cantidad de capacidad de reserva incluso en los momentos de actividad máxima del sistema. Así los cobros por horas de carga máxima entran en juego cuando el sistema opera al 85 ó 90 por 100 de su capacidad física y bajo la esperanza de que el nivel real de funcionamiento raramente excederá, digamos, el 95 por 100 de la capacidad física. Este margen de error

es necesario a causa del hecho de que la capacidad física no puede ser superada de manera significativa (pequeños excesos de la demanda del sistema pueden ser acomodados con menores reducciones de voltaje) y a causa de que los cortes de energía a grupos particulares de consumidores implican altos costes reales para ellos. De esta forma, al objeto de ser capaces de atender un aumento inesperado de la demanda máxima o de acomodarse a una inesperada reducción de la capacidad máxima (a causa de averías o suministros de caudales de agua anormalmente bajos a las instalaciones de tipo hidráulico), el punto en el que entran en vigor las tarifas para horas punta es establecido según un cierto margen por debajo del nivel absoluto de capacidad del sistema.

Donde las redes de electricidad se extienden sobre áreas sustanciales (en muchos casos sobre países enteros), la fijación de precios de coste marginal impone variaciones de carácter regional en las tarifas para tener en cuenta las variaciones en los costes marginales de producción y también para cubrir los costes de conducción en aquellos casos en que la electricidad se envía a distancias considerables desde las centrales de producción a bajo coste. La estructura regional de tarifas en el sistema francés de electricidad ha sido construida sobre esta base.

Finalmente, hay que tener en cuenta que los precios a los que nos hemos referido hasta ahora en este trabajo son, en efecto, «precios al por mayor» de electricidad de alto voltaje. Las tarifas diferenciales «al por menor» encuentran justificación en la necesidad de cubrir los costes diferenciales de distribución, incluyendo en los costes de distribución las pérdidas en que se incurre al transformar la energía de alto voltaje a voltajes inferiores, y los costes directos reales de distribución.

#### BIBLIOGRAFIA SELECCIONADA

- Harberger, A. C., y N. Andreatta: «A Note on the Economic Principles of Electricity Pricing». Applied Economics Papers, marzo 1963.
- Marschak, Thomas: «Capital Budgeting and Pricing in the French Nationalized Industries». Journal of Business, abril 1960.
- Meek, Ronald L.: «An Application of Marginal Cost Pricing: The "Green Tariff" in Theory and Practice». Journal of Industrial Economics, julio y noviembre 1963.
- «The Bulk Supply Tariff for Electricity». Oxford Economic Papers, julio 1963.
- Nelson, J. R. Ed.: «Marginal Cost Pricing in Practice». Prentice-Hall, 1964.
- Organization for European Economic Cooperation: «The Theory of Marginal Cost and Electricity Rates». Paris: OEEC, 1958.
- Steiner, Peter O.: «Peak Loads and Efficient Pricing». Quarterly Journal of Economics, noviembre 1957.
- Turvey, Ralph. «On Investment Choices in Electricity Generation». Oxford Economic Papers, noviembre 1963.

## CAPITULO DIEZ

### EL ANALISIS COSTE - BENEFICIO EN LOS PROYECTOS DE TRANSPORTES (\*)

#### I. INTRODUCCION

Este trabajo se centrará en los problemas que surgen al evaluar los proyectos de transportes en el contexto de los países en vías de desarrollo. Se cargará el énfasis sobre los proyectos de autopistas a causa de que constituyen el grueso de las inversiones en transportes en las partes del mundo que se hallan en vías de desarrollo, ya que los proyectos de obras ferroviarias se limitan en gran parte a la modernización de las instalaciones existentes, y los proyectos de transporte aéreo y puertos, incluso aunque sean básicamente nuevos, son de mucha menor entidad en relación a las inversiones en carreteras.

Los proyectos de carreteras comportan también un especial interés al compararlos con otros tipos de inversiones en transporte a causa del hecho de que tan sólo raras veces pueden estar justificados en base a consideraciones estrictamente comerciales. Las tarifas ferroviarias y aéreas y las cargas portuarias y terrestres constituyen artificios directos mediante los cuales los costos de los servicios relevantes pueden, con el tiempo, ser recuperados de los beneficiarios. En una primera aproximación, por tanto, puede juzgarse la rentabilidad de tales proyectos a través del criterio estrictamente comercial de la posibilidad de beneficios en el futuro. No es posible efectuar una simplificación tal con respecto a la mayor parte de las inversiones en carreteras, cuyos beneficios alcanzan, en general, de manera gratuita a sus usuarios. Las cargas sobre el usuario están presentes, por supuesto, en el campo de los transportes por carretera en forma de impuestos sobre la gasolina, permisos

\* Documento preparado para una conferencia sobre «Engineering and the Building of Nations», que tuvo lugar en Estes Park, Colorado, 27 agosto-1 septiembre 1967.

para vehículos a motor e impuestos sobre los mismos, etc. Pero estas cargas son función de la estructura tributaria general del país y no varían en relación a la utilización de los vehículos en una u otra autopista. No se hallan relacionadas ni con los beneficios que los usuarios pueden esperar disfrutar de un proyecto en particular ni con los costes de construcción de tal proyecto.

Significa esto que en tanto que para la mayor parte de proyectos de transportes de otra clase los distintos tipos de cargas sobre los usuarios se pueden aceptar como la medida, en una primera aproximación, de los beneficios, para los proyectos de carreteras debemos enfrentarnos al problema de estimar tales beneficios partiendo básicamente de cero. Esto puede ser fácil o difícil, dependiendo de las circunstancias del caso. En conjunto y de manera fundamental, los proyectos de carreteras implican la mejora de las existentes, o lo que es casi lo mismo, el enlace mediante más cortas y/o mejores carreteras de los centros de población que ya estaban realmente enlazados por las redes existentes anteriormente. En estos casos podemos tener acceso, en general, a dos fuentes de información claves, de un gran valor en el momento de la estimación de los beneficios de los proyectos: a), el volumen actual de tráfico que existe entre los puntos a enlazar mediante la mejora de la carretera; y b), la probable reducción en los costes de desplazamiento por vehículo-milla que tendrá lugar como consecuencia de las mejoras. Más adelante se verá que con la ayuda de estos dos tipos de hechos pueden efectuarse normalmente mediciones razonablemente exactas de los futuros beneficios de los proyectos de mejora de carreteras.

No es este el caso con respecto a las carreteras totalmente nuevas que atraviesan áreas aún no servidas por redes de autopistas. Para estas carreteras el volumen futuro de tráfico es un dato mucho más desconocido que en el caso de mejoras en las existentes, y el beneficio por usuario, que puede medirse con bastante exactitud en el caso de mejoras en términos de reducción de costes por vehículo-milla, plantea ahora problemas mucho más complicados de estimación.

## II. EL CASO DE MEJORAS EN LAS CARRETERAS EXISTENTES

Se trata en estos casos de proyectos de mejoras en las carreteras que no dan lugar a posibilidades de tráfico nuevo, no existente con anterioridad. Pueden originar nuevo tráfico debido al hecho de que reducen los costes de viaje, pero la mayor parte del tráfico por la carretera mejorada es probable que se hallara ya circulando sobre la existente. Esto significa que la

mayor parte de los beneficios que proceden de la mejora es probable que deban imputarse al tráfico que en cualquier caso habría circulado sobre la carretera antes de mejorarse su estado.

Todos los beneficios directos de una mejora de carretera implican ahorros de costes. En general, cuanto mejor sea la carretera, menor será el consumo de gasolina y gasoil, menor el desgaste de los neumáticos, menor la incidencia de gastos de reparación y mantenimiento y mayor la vida útil de los vehículos que la utilizan. Jan de Weille, en un reciente estudio para el Banco Mundial, ha reunido los datos disponibles para proporcionar una más útil documentación de referencia para la estimación de estos ahorros de costes<sup>104</sup>. En este estudio puede verse cómo, por ejemplo, el consumo de carburante varía con el tipo de carretera (de tierra, de grava, pavimentada) para tres tamaños de automóviles y cuatro tipos y tamaños de camiones.

Los datos se ordenan atendiendo a la velocidad del vehículo, clase de pendiente de la carretera y grado de curvatura de la misma. De forma semejante se presentan datos que demuestran cómo para cada tipo de vehículo el consumo de carburante, el desgaste de neumáticos, los costes de mantenimiento y la depreciación de los vehículos varían con el tipo de carretera y velocidad de desplazamiento. Los datos de De Weille se presentan en términos físicos (litros de gasolina o aceite, horas de trabajo de mantenimiento, porcentaje de depreciación total por 1.000 kilómetros de viaje), de manera que se pueden adaptar rápidamente a las situaciones de precio y coste de los diferentes países. Así, por ejemplo, si se prevé que, como consecuencia de la mejora de un tramo dado de carretera al sustituir la tierra por grava, la velocidad media del tráfico pasará de 25 a 40 millas por hora, se pueden averiguar los ahorros en los tipos de costes descritos anteriormente que la mejora representará por vehículo-kilómetro de tráfico existente para cada clase de vehículo mediante la simple consulta de las tablas del libro de De Weille.

Los ahorros adicionales distintos de los relacionados directamente con los costes por vehículo incluyen el ahorro de tiempo para los ocupantes de los vehículos, ahorros en los gastos de mantenimiento de las carreteras y la posible reducción en los costes por accidentes como resultado de la mejora en la carretera. De éstos, los dos primeros son con mucho los más importantes. Si se valora el tiempo de los ocupantes de un vehículo a tres dólares la hora, el coste asciende a 0,12 dólares

<sup>104</sup> Jan de Weille, «Quantification of Road User Savings», Washington D. C.: IBRD, 1966.

por vehículo-milla a 25 millas por hora y 0,075 dólares por vehículo-milla a 40 millas por hora —el ahorro de 0,045 dólares por vehículo-milla es realmente grande en comparación con la probable reducción en los costes directos del vehículo asociados a una mejora consistente en pasar de tierra a grava—. Por supuesto, el valor de este ahorro se halla ligado al valor asignado a la hora de tiempo de los ocupantes y depende, por lo tanto, del nivel de vida del país. En un país de renta muy baja como la India, la parte de ahorro de tiempo por mejoras en las carreteras es probable que contribuya poco a la estimación general de los beneficios, pero incluso a niveles de renta relativamente modestos posee un importante efecto: un ahorro de 0,01 dólares por vehículo-milla procedente del incremento anteriormente supuesto en la velocidad para un valor del tiempo de 0,67 dólares por vehículo-hora <sup>105</sup>.

Con respecto a los costes de mantenimiento de la carretera, está claro que las mejoras pueden a menudo originar sustanciales ahorros. Un reciente estudio basado en datos de Venezuela estimaba que los costes de mantenimiento de una carretera de grava eran iguales a los de una carretera de tierra con un tráfico diario medio de 100 vehículos; más allá de este nivel de tráfico se producía un ahorro de unos 0,02 dólares por vehículo-kilómetro de pavimento en comparación con la grava <sup>106</sup>.

Volvamos ahora al procedimiento básico para evaluar los beneficios directos de una mejora en una carretera en particular. En primer lugar estimamos, sobre la base del volumen de tráfico observado normalmente, su tendencia pasada y la probable tasa de crecimiento de la economía en el área, la evolución temporal proyectada del volumen de tráfico de vehículos de cada tipo, suponiendo que no se efectuara la mejora. Esto dará lugar a *i* series temporales,  $V_{it}$ , donde *V* representa el volumen de tráfico, *i* el tipo de vehículo y *t* el tiempo. Sumamos para cada año obteniendo

$$V_t \left( = \sum_i V_{it} \right)$$

que es el volumen de tráfico esperado para cada año.

<sup>105</sup> Obsérvese que el vehículo medio transporta más de un pasajero: los datos de De Weille indican medias de 1,8 pasajeros por automóvil y de 1,2 pasajeros por camión. Los ahorros de 0,01 dólares por vehículo-milla se alcanzarían, en consecuencia, para un valor del tiempo de 0,37 dólares por hora aproximadamente para los ocupantes de vehículos de pasajeros y de unos 0,56 dólares por hora para los ocupantes de los camiones.

<sup>106</sup> Richard M. Soberman, «Economic Analysis of Highway Design in Developing Countries», Highway Research Board, Highway Research Record, número 115 (publicación 1.337), 1966.

Sobre la base del volumen esperado proyectamos la velocidad media estimada del tráfico sobre la carretera en el año *t*. Puede hacerse esto utilizando las observaciones directas sobre la relación entre la velocidad media y el volumen de tráfico sobre la carretera estudiada, o si no se puede disponer de aquellas, mediante el uso de las relaciones funcionales entre velocidad y volumen de tráfico para el tipo particular de carretera. Tales relaciones han sido estimadas durante muchos años por la Oficina de Vías Públicas de los Estados Unidos y otras autoridades relacionadas con las autopistas. Obtenemos así

$$S_{it} = f(V_{it})$$

donde  $S_{it}$  es la velocidad media del tipo de vehículo *i*.

Las estimaciones de la velocidad media, junto con las características de la carretera (tales como pendiente y curvatura), nos posibilita para calcular, utilizando los datos de De Weille, cuál será el coste medio,  $c_{it}$ , por vehículo-milla en el momento *t* para los vehículos de clase *i* en la carretera no mejorada.

El paso siguiente que debemos dar es estimar las cifras correspondientes para la carretera mejorada. Si no se espera que los volúmenes de tráfico sean diferentes en relación con el hecho de que la carretera experimente alguna mejora o no, es una tarea fácil. El cálculo entraña simplemente la inserción de la  $V_t$  estimada en la ecuación que establezca la relación entre la velocidad media y el volumen de tráfico para carreteras del tipo (por ejemplo, de grava con dos carriles) de la que se esté planeando. Las velocidades estimadas,  $s'_{it}$ , obtenidas de esta manera, junto con la pendiente y curvatura de la carretera mejorada, nos capacitan para estimar los costes medios futuros,  $c'_{it}$ , de tránsito por la misma para cada clase de vehículo.

Incluidos en  $c_{it}$  y  $c'_{it}$  han de hallarse todos los costes soportados por los propietarios y ocupantes de los vehículos —incluyendo la gasolina, gasoil, mantenimiento, reparación, depreciación y costes de tiempo de los ocupantes—. Los beneficios que se acumulan en el año *t* a los propietarios y ocupantes como consecuencia de la mejora propuesta pueden estimarse, por tanto, como

$$\sum_i (c_{it} - c'_{it}) V_{it}$$

y el valor actualizado de esta clase de beneficios es

$$\sum_t (1+r)^{-t} \sum_i (c_{it} - c'_{it}) V_{it}$$

donde *r* es la tasa de descuento utilizado a efectos del análisis

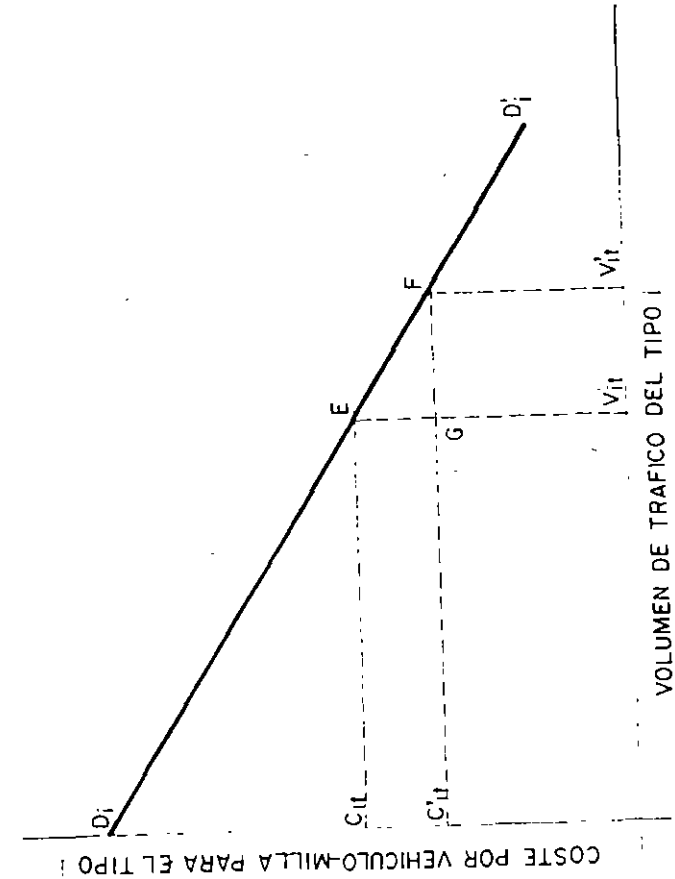
coste-beneficio, tomándose el año corriente como origen para medir el tiempo. A estos beneficios debemos añadir los ahorros futuros en los costes de mantenimiento,  $M_t - M'_t$ , donde  $M_t$  hace referencia a los costes de mantenimiento sobre la carretera no mejorada y  $M'_t$  a los de la carretera una vez incorporada la mejora. Ambos serán funciones de los volúmenes futuros de tráfico,  $V_t$ , y han de ser estimados sobre la base de ellos. La expresión para el valor actualizado de los beneficios directos totales (estoy tratando aquí la prevención de accidentes como un componente insignificante de los beneficios totales) es, por tanto,

$$\sum_t (1+r)^{-t} \Sigma (c_{it} - c'_{it}) V_{it} + \sum_t (1+r)^{-t} (M_t - M'_t) \quad (2)$$

Cuando se puede prever que el volumen de tráfico en el momento  $t$  va a aumentar como consecuencia directa de la mejora, el análisis se muestra algo más complicado. En primer lugar hay que estimar el incremento esperado en el tráfico ( $V'_{it} - V_{it}$ ) de diversos tipos. Luego, sobre la base de [ $V'_{it} (= \Sigma V'_{it})$ ] se ha de estimar  $s'_{it}$ , utilizando la relación funcional entre velocidad y volumen para las carreteras del tipo de las mejoradas. Utilizando estas velocidades se procede luego a estimar los costes medios por vehículo-milla,  $c'_{it}$ , en base a los cambios propuestos en las características de la carretera. Y utilizando los volúmenes futuros de tráfico,  $V'_{it}$ , se estiman los costes de mantenimiento de la carretera proyectada,  $M'_t$ . Con estas modificaciones de metodología la fórmula (1) continúa siendo válida como medida del valor actualizado de una gran parte de los beneficios directos totales, pero omite un componente de los mismos: la ganancia en el excedente del consumidor, consecuencia del tráfico nuevamente generado.

En la figura 10.1 se ilustra esto. En ella,  $D_i D'_i$  representa la función de la demanda para la utilización de la carretera por vehículos del tipo  $i$ . Sobre el eje vertical se mide el precio que cada unidad sucesiva de tráfico estaría dispuesta a pagar por vehículo-milla por circular sobre la carretera. Ha de interpretarse este precio como el coste máximo total por vehículo-milla que esa unidad de tráfico estaría dispuesta a soportar, al objeto de circular por la carretera. Con la carretera sin mejorar, el coste por vehículo-milla es  $c_{it}$  y el nivel de tráfico se convierte en  $V_{it}$  —incluyendo todas aquellas unidades de tráfico que se hallan dispuestas a soportar costes de  $c_{it}$  o más. Con la mejora, los costes bajarán a  $c'_{it}$  y el volumen de tráfico se ampliará hasta  $V'_{it}$ . Los beneficios brutos recibidos por el tráfico adicional vienen medidos por  $V_{it} E F V'_{it}$ , pero los costes que experimentan son  $V_{it} G F V'_{it}$ . Por tanto, el triángulo  $EFG$  mide el bene-

FIG-10.1



ficio neto para el año  $t$ . No reciben tanto beneficio neto como tráfico existente porque parte de la reducción en los costes por vehículo-milla, no es de relevancia para ellos. Si  $c_{it}$  asciende a 10 céntimos y  $c'_{it}$  a 0,07 dólares, un viajero potencial que no se halle dispuesto a pagar más de ocho céntimos de dólar por utilizar la carretera, no obtiene beneficio alguno de una reducción de coste de 0,10 a 0,08 dólares; en ese punto puede utilizar la carretera, pero se encontrará en el límite de la indiferencia entre utilizarla o no. Si se le hace accesible el uso a un coste de 0,07 dólares por vehículo-milla, la medida de su beneficio neto es 0,01 dólares ( $=0,08-0,07$  dólares), en tanto que aquellos que estuvieran ya pagando 0,10 dólares por utilizar la carretera en su estado anterior a la mejora obtendrán un beneficio de 0,03 dólares por vehículo-milla.

Si la curva de la demanda de los servicios de la carretera es lineal, y si no lo es adoptando una aproximación lineal a la misma, podemos expresar el triángulo EFG como

$$\frac{1}{2} (c_{it} - c'_{it})(V'_{it} - V_{it})$$

Debemos, por tanto, agregar a la expresión (1)

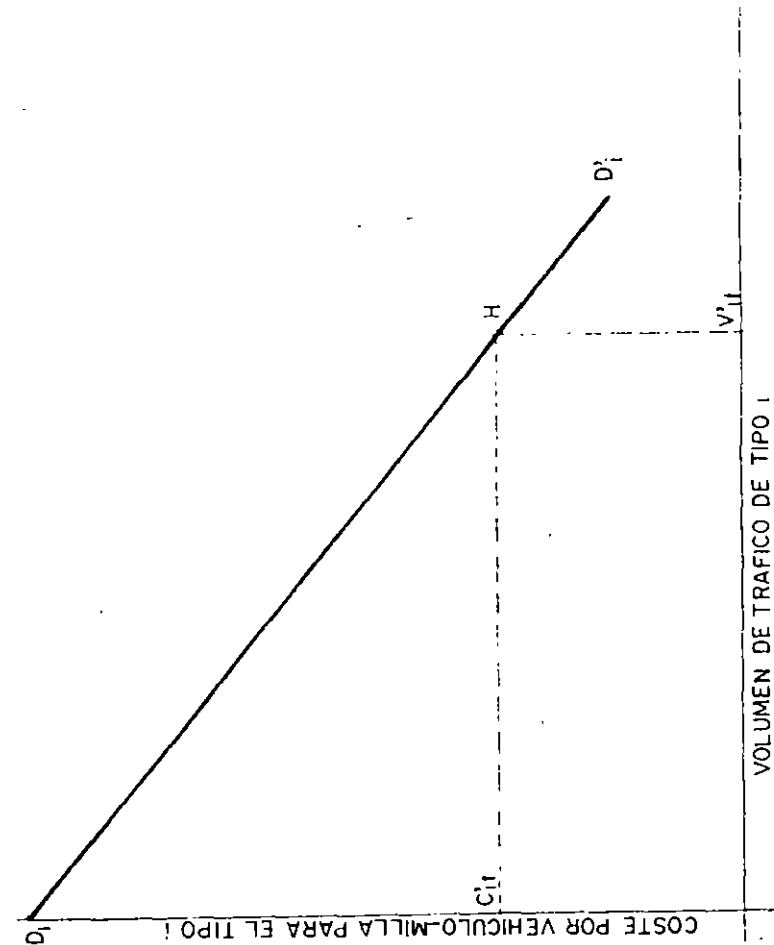
$$\frac{1}{2} \sum_i (1+r)^{-i} \sum_i (c_{it} - c'_{it})(V'_{it} - V_{it}) \quad (2)$$

al objeto de computar ese componente de beneficio representado por el excedente del consumidor que se acumula al tráfico generado directamente como consecuencia de la mejora.

### III. EL CASO DE LAS VIAS DE PENETRACION

Quando se construye una carretera en un área a la cual el acceso de los vehículos a motor era anteriormente imposible, en principio permanece invariable el análisis de la sección II, pero en la práctica pueden ser necesarias modificaciones significativas en su estudio. Aquí, las dificultades nacen del hecho de que  $V_i$  es cero, de donde el componente del beneficio representado por  $C_{it}EGC'_{it}$  en la figura 10.1, simplemente no existe. Todo el tráfico es generado por vez primera por la presencia de la carretera y, por tanto, todos los beneficios directos para los usuarios son, en principio, del tipo representado por el triángulo EFG. En la figura 10.2 se ofrece este caso.

FIG 10.2





Aquí el beneficio anual neto para los usuarios del tipo i viene dado por el triángulo  $D_iHC'_{ii}$ , que corresponde exactamente a EFG en la figura 10.2. Los problemas especiales planteados por el caso presente surgen porque a), en tanto que para la mejora de las carreteras existentes el incremento de volumen de tráfico resultante ( $V'_i - V_i$ ) es probable que sea relativamente pequeño en relación a  $V_i$ , este aumento representa el volumen total de tráfico en el caso de una vía de penetración, y b), en tanto que, en el caso de mejoras en las carreteras, los costes por vehículo-milla,  $c_{ii}$  y  $c'_{ii}$ , de una cantidad dada de tráfico en las carreteras existentes y mejoradas pueden calcularse de forma precisa, proporcionándonos así una buena estimación de la altura del triángulo EFG, no poseemos ninguna estimación correspondientemente de la altura del triángulo  $D_iHC'_{ii}$ , en el caso de una vía de penetración. El caso a) plantea un problema porque el incremento en el tráfico originado por una mejora está evidentemente sujeto a un mayor error de estimación que el tráfico basado en la normal ampliación del que observamos hoy; para una mejora de carretera, este error se aplica a una parte relativamente pequeña del beneficio anual directo total, en tanto que para una carretera de penetración el error se aplica a más del total (más porque del triángulo  $D_iHC'_{ii}$  debemos deducir los costes anuales de mantenimiento de la carretera,  $M_i$ ). Un problema nos plantea también b), porque el coste de desplazar los bienes y las personas dentro de un área que va a ser cruzada por primera vez por una carretera es probable que sea alto (de no ser así, como por ejemplo en el caso del fácil transporte fluvial o marítimo, el análisis es muy parecido al de una mejora de carretera). Este coste no proporciona una útil estimación de la localización del punto  $D_i$ . Además, la hipótesis de linealidad de la curva de demanda de servicios de la carretera, que es probable consiga una buena aproximación cuando, como en la figura 10.1, los puntos relevantes (E y F) no se encuentran demasiado distantes el uno del otro, es mucho más precaria en el caso de la figura 10.2, donde las desviaciones del segmento  $D_iH$  de la linealidad pudieran ejercer un efecto sustancial sobre el área  $D_iHC'_{ii}$ .

Los tipos de dificultades mencionados anteriormente, hallados en el análisis de las carreteras de penetración, pueden hacer aconsejable en algunos casos el uso de criterios alternativos para la estimación de beneficios. El caso más simple es el de una mina aislada, donde habría de pensarse en el problema de acceso a ella en el proceso de decisión acerca de la rentabilidad de su puesta en explotación. Si el tráfico a soportar por la carretera va a estar exclusivamente, o casi exclusivamente, relacionado con el funcionamiento de la mina, la

empresa que la vaya a explotar ha de correr con todos los costes de la carretera. Si bajo estas circunstancias la mina no es una empresa atractiva, la consecuencia es que no es provechoso para la sociedad como un todo ponerla en explotación. (No es necesario decir que esta conclusión pudiera invertirse si se hallaran presentes externalidades en cantidad suficiente, pero este tratamiento habría de aplicarse a cualquier inversión por aparentemente no rentable que pareciera.)

Un caso más complejo es el de una carretera que está abriendo a la explotación agrícola una nueva zona. Aquí puede verse mejor la esencia del problema, suponiendo que el área abierta consta por completo de terrenos públicos que no poseen ningún valor en la actualidad debido a su lejanía. Entonces, los beneficios imputables al proyecto de carretera consistirían en la rentabilidad total estimada que la Administración pudiera conseguir de la venta de los terrenos una vez construida la carretera, suponiendo que el mercado de tierras funcionase en forma adecuada. Si la tierra poseyera ya un valor en su estado actual, el beneficio imputable a la carretera sería el exceso del valor de la futura venta de la tierra sobre su valor actual de mercado.

Sin embargo, los acuerdos de tipo institucional y las imperfecciones del mercado pueden hacer que las comparaciones del valor de la tierra no sean adecuadas como estimaciones de los beneficios de las vías de penetración. Para mencionar el caso más evidente, la tierra (supuesto que sea propiedad privada) puede no poseer una verdadera productividad económica en ausencia de una carretera, pero puede poseer un precio positivo de mercado en la actualidad, porque sus propietarios prevén que la Administración construirá una carretera algún día dentro del área. En este caso, el futuro valor de venta de las tierras, una vez construida la carretera, y no la diferencia entre éste y el valor presente de mercado de la tierra, es la medida adecuada de los beneficios de la carretera. Un segundo problema afecta a las posibles mejoras de la tierra. En todos los casos en que se utilizan las comparaciones del valor de la tierra para evaluar los beneficios de la carretera, los costes de cualquier mejora en la tierra (limpieza, nivelación, puesta en regadío y otros) que no existan hoy día ya, deben ser deducidos de su valor futuro antes de imputar ningún beneficio a la carretera.

Cuando nos encontramos con que el uso directo de las comparaciones del valor de la tierra es de poca garantía o entraña un riesgo excesivo, puede intentarse valorar los beneficios de la apertura de una carretera que ponga a disposición de la agricultura una nueva zona sobre la base de la futura producción agrícola. Aquí, una vez más, hay que tomar la precaución de

deducir del valor del futuro output agrícola todos los costes relevantes asociados, incluyendo los de limpieza y mejora de las tierras (costes de capital), así como costes corrientes, tales como mano de obra, fertilizantes y los de transporte de los inputs y outputs agrícolas por la carretera. Y en la medida en que inversiones sociales complementarias, tales como la provisión de energía eléctrica o agua potable, se hallen implicadas en la apertura del área a la agricultura, sus costes, además, han de deducirse del valor de la futura producción agrícola, antes de llegar a cifrar el beneficio atribuible a la carretera.

O, lo que viene a ser esencialmente lo mismo, puede evaluarse toda la serie de inversiones dirigidas a la apertura del área consideradas como un «paquete», comparando el valor esperado de los flujos de la producción agraria con la suma de todos los costes estimados —de capital y corrientes, públicos y privados— implicados en la producción de tal output.

Es de suma importancia reconocer que el uso de los cambios en el valor de la tierra, el uso del valor actualizado de los cambios en el output agrícola menos los costes y la estimación del valor presente de los triángulos anuales  $D_t HC'_t$ , en la figura 10.2 son tres formas alternativas de conseguir esencialmente la misma cosa. Si inicialmente los precios de las tierras no contienen ningún componente especulativo asociado a que se haya de construir una carretera, el aumento en el valor de las tierras inducido por la carretera es simplemente el valor capitalizado de los beneficios obtenidos, pero no pagados, por los usuarios de la carretera. Pudiera esto no comprender completamente el valor de  $D_t HC'_t$ , porque algunos de los usuarios de la carretera que no sean agricultores pueden apropiarse parte de él, y porque algunos de los beneficios de la carretera percibidos por los agricultores pueden no ser capitalizados como valor de las tierras. Pero en cualquier caso, el aumento de los valores de las tierras no es adicional al valor presente de los triángulos de demanda. De manera semejante podemos representar el valor presente no especulativo de la tierra como el valor actual del output futuro neto estimado en ausencia de la carretera y relacionarlo al correspondiente valor en presencia de la misma. Quiere esto decir que el cambio en el valor de la tierra será el valor presente del aumento en el output debido a la carretera menos el valor presente del capital adicional y los costes corrientes necesarios para conseguir ese output. El no haber considerado estos tres criterios como alternativas para la medida de la misma cosa ha llevado a menudo a una doble contabilización de beneficios, que incluso en algunos casos ha llegado a ser triple.

#### IV. EXTERNALIDADES RELACIONADAS CON LOS PROYECTOS DE CARRETERAS

Es adecuado, en el análisis de cualquier proyecto desde el punto de vista de la sociedad como un todo, tener en cuenta los beneficios y costes externos o indirectos. Pueden resumirse éstos de manera aceptable en la fórmula

$$\sum_t D_{t,i}(X'_{t,i} - X^0_{t,i})$$

donde  $D_{t,i}$  es el exceso de beneficios sobre los costes asociados a una unidad de cambio del nivel de actividad  $X_i$  en el momento  $t$ ,  $X'_{t,i}$  es ese nivel en presencia del proyecto en cuestión y  $X^0_{t,i}$  es ese mismo nivel en ausencia del proyecto. Así, por ejemplo,  $X_{t,i}$  pudiera constituir el número de trabajadores no cualificados empleados en una planta textil en particular, y  $D_{t,i}$ , el exceso del salario que se les paga sobre el coste de oportunidad de su trabajo en empleos alternativos. De manera semejante,  $X_{t,i}$  podría ser el output de una fábrica de neumáticos, y  $D_{t,i}$ , el impuesto sobre el consumo recaudado por neumático, representando el exceso del beneficio social (medido en este caso por el precio de mercado que la gente paga por los neumáticos) sobre el coste de los recursos para producirlos. Si debido a la existencia de un proyecto de carretera se llegara a emplear más o menos mano de obra sin cualificar en la planta textil o se produjeran más o menos neumáticos en la fábrica, los beneficios o costes indirectos, tal como se conciben en la fórmula presentada anteriormente, habrían de ser atribuidos al proyecto.

No existe ninguna característica en los casos citados que corresponda exclusivamente a los proyectos de inversiones de carreteras. Si consideráramos un proyecto de energía eléctrica o de regadío, nos preguntariamos cómo cambiaría el nivel de empleo de trabajadores sin cualificar en la fábrica textil y cómo lo haría el output de la fábrica de neumáticos como consecuencia del proyecto, de la misma forma que lo haríamos en el caso de un proyecto de carreteras. En principio, las autoridades responsables de la evaluación del proyecto deberían identificar todas las actividades  $X_i$  para las que el beneficio social marginal difiere perceptiblemente del coste marginal social, proporcionando a los evaluadores del proyecto estimaciones de la medida de las correspondientes distorsiones,  $D_i$ . Los evaluadores del proyecto deberían entonces estimar los cambios en los niveles significativos de actividad causados por cada proyecto en particular a fin de obtener

$$\sum_i \Delta_{it}(X'_{it} - X^0_{it})$$

para cada año de la vida esperada del proyecto como una medida resumen de los beneficios y costes indirectos del mismo.

### Externalidades relacionadas con el tráfico sobre otras carreteras.

Aunque el procedimiento general para tratar las externalidades no contiene nada peculiar para los proyectos de carreteras existen, no obstante, dos tipos de distorsiones que son de especial interés en cuanto conciernen a tales proyectos. Son éstas: a), el probable exceso del coste marginal social sobre el beneficio marginal social del tráfico por carreteras, y b), el exceso probable de los beneficios sobre los costes sociales marginales del tráfico por ferrocarril. Algunos lectores pueden verse sorprendidos por la afirmación de que es probable que se produzca un exceso del coste sobre el beneficio marginal en el caso del tráfico rodado, pero es suficiente una pequeña reflexión para establecer este punto. Todos los estudios que se han efectuado sobre la relación entre la velocidad y volumen medios de tráfico en algunas carreteras en particular han demostrado que a mayor tráfico más baja es la velocidad media. Esta relación negativa tiene aplicación incluso para volúmenes de tráfico relativamente bajos, bastante antes de que tuviera lugar nada que se pudiera denominar congestión. La consecuencia es que un incremento en el tráfico de una carretera posee el efecto de obstaculizar el tráfico preexistente, aumentando su coste por vehículo-milla en términos del tiempo gastado por los ocupantes y posiblemente también en términos de otros costes.

Sea la función que relaciona velocidad a volumen

$$S = a - bV \quad (3)$$

y sea H el valor del tiempo de los ocupantes por vehículo-hora. El coste de tiempo soportado por los ocupantes de un vehículo será H/S por vehículo-milla; éste es también el coste marginal privado del tiempo para un conductor normal. El coste total del tiempo de todos los usuarios de la carretera será VH/S y el coste marginal social del tiempo será

$$\delta(VH/S)/\delta V = H \left[ S - V \frac{\delta S}{\delta V} \right] / S^2 = H[a - bV + bV] / V^2 = \frac{aH}{S^2} \quad (4)$$

Por tanto, el coste marginal social excede al coste marginal privado en el porcentaje

$$\frac{MSC - MPC}{MPC} = \frac{\left( \frac{aH}{S^2} - \frac{H}{S} \right)}{(H/S)} = \frac{a - S}{S} \quad (5)$$

Esta expresión se puede interpretar fácilmente como «porcentaje de déficit de velocidad». Si, sobre el tipo de carretera en cuestión, la velocidad media de desplazamiento a) para volúmenes de tráfico muy lento es de 60 millas/hora, y si para el volumen de tráfico actual la velocidad media es de 40 millas/hora, entonces el coste marginal social del tiempo supera al coste marginal privado del tiempo en un 50 por 100 [= (60 - 40)/40].

La presencia de esta externalidad sugiere la posibilidad de recaudar un impuesto que situaría a los automovilistas ante un coste marginal privado igual al coste marginal social correspondiente a sus viajes. Por desgracia, el diseño y administración de tal impuesto sería demasiado complicado para ser viable incluso en los países desarrollados con modernas y eficaces autoridades tributarias. Para los países en vías de desarrollo, su gestión entra seguramente dentro del terreno de lo imposible. A pesar de ello, podemos admitir que el impuesto sobre la gasolina opera de forma clara para ayudar a compensar la discrepancia entre los costes marginales privados y sociales de desplazamiento. Sin embargo, ésta es una compensación muy imperfecta, porque la discrepancia entre los costes social y privado varía grandemente con el volumen de tráfico, en tanto que la cantidad de gasolina consumida por milla es casi constante. La tabla 10.1 muestra cómo el impuesto óptimo (aquél diseñado justamente para compensar la discrepancia entre los costes marginales social y privado) variaría para diferentes velocidades y distintos valores del porcentaje de déficit de velocidad, suponiendo que se valora el vehículo-hora en un dólar. Se ha visto que cuando las velocidades medias son tan lentas que alcanzan 20 millas por hora (como sucede normalmente en el caso de carreteras de tierra y grava), el impuesto óptimo es probable que se sitúe por encima de 0.01 dólares por vehículo-milla. Incluso a una velocidad de 40 millas/hora, no sería raro obtener un impuesto de un céntimo de dólar por milla —esto requeriría un déficit de velocidad del 40 por 100, correspondiendo a una situación en la que la velocidad media del tráfico fluido sería de 56 millas/hora comparada con una velocidad media real de 40 millas/hora.

TABLA 10.1

EXCESO DEL COSTE MARGINAL SOCIAL SOBRE EL COSTE MARGINAL PRIVADO POR VEHICULO-MILLA

(Basado en la hipótesis de asignar un dólar al valor del tiempo por vehículo-hora y un impuesto sobre la gasolina

Igual a cero)

$\frac{a-s}{s} / s$	MILLAS POR HORA			
	20 Dólares	30 Dólares	40 Dólares	50 Dólares
0,10	0,005	0,0033	0,0025	0,002
0,20	0,010	0,0067	0,005	0,004
0,30	0,015	0,0100	0,0075	
0,40	0,020	0,0133	0,010	
0,50	0,025	0,0167		

Por todo lo anterior, no es probable que los impuestos sobre la gasolina compensen más que una parte de la típica discrepancia entre los costes sociales y privados —en particular porque descubrimos que los volúmenes de tráfico más denso tienen lugar cuando el déficit de velocidad es mayor, siendo esta última variable función directa del volumen de tráfico—. Procedemos entonces bajo la hipótesis de que, en general, los costes marginales sociales del transporte por carretera exceden al coste marginal privado, incluso cuando los efectos compensadores de los impuestos sobre la gasolina se tengan en cuenta.

Distinguiremos ahora dos casos en que el ajuste por externalidades del tipo que hemos estado discutiendo se halla justificado, siendo el primero aquel en el que la mejora de la carretera en cuestión constituye un bien sustitutivo de las carreteras existentes, y el segundo, aquel en el que se da una relación de complementariedad. Hablando de manera general puede identificarse la posibilidad de sustitución con los complejos urbanos, en los que existen normalmente muchas rutas alternativas para ir de un lugar a otro, y la complementariedad con las carreteras rurales, donde lo más normal es que exista tan sólo una carretera adecuada entre dos lugares.

En el caso de sustituibilidad, una parte del tráfico recién generado sobre la carretera mejorada será desviado de otras carreteras. Aquí aparece un beneficio externo, porque ahora hay menos tráfico sobre las vías sustituidas, lo que supondrá un desplazamiento más rápido, implicando un ahorro de costes de

tiempo para los ocupantes de los vehículos. En el caso de la complementariedad, los volúmenes de tráfico aumentarán sobre las carreteras que desembocan y parten del segmento mejorado; por tanto, el desplazamiento sobre estas carreteras será más lento, entrañando un aumento en el coste de desplazamiento de los que las utilizan.

En la figura 10.3 se representan estos efectos. Se describe la situación sobre una carretera, B, competitiva o complementaria de aquella en la que se llevan a cabo las mejoras (carretera A). Para simplificar, se supone que el tráfico sobre esta carretera es de un solo tipo, de manera que los costes con que se enfrenta cada unidad de dicho tráfico serán los mismos para todos los vehículos. Sea DD' la curva de demanda para el desplazamiento sobre la carretera B y CC' la curva que relaciona los costes privados de desplazamiento por vehículo-milla al volumen de tráfico sobre esa carretera. CS', la curva marginal de CC', representa el coste marginal social de desplazarse sobre la carretera B. El equilibrio inicial, antes de mejorarse la carretera A, se dará para un volumen de tráfico  $V_0$ , donde la curva de coste privado corta a la curva de demanda.

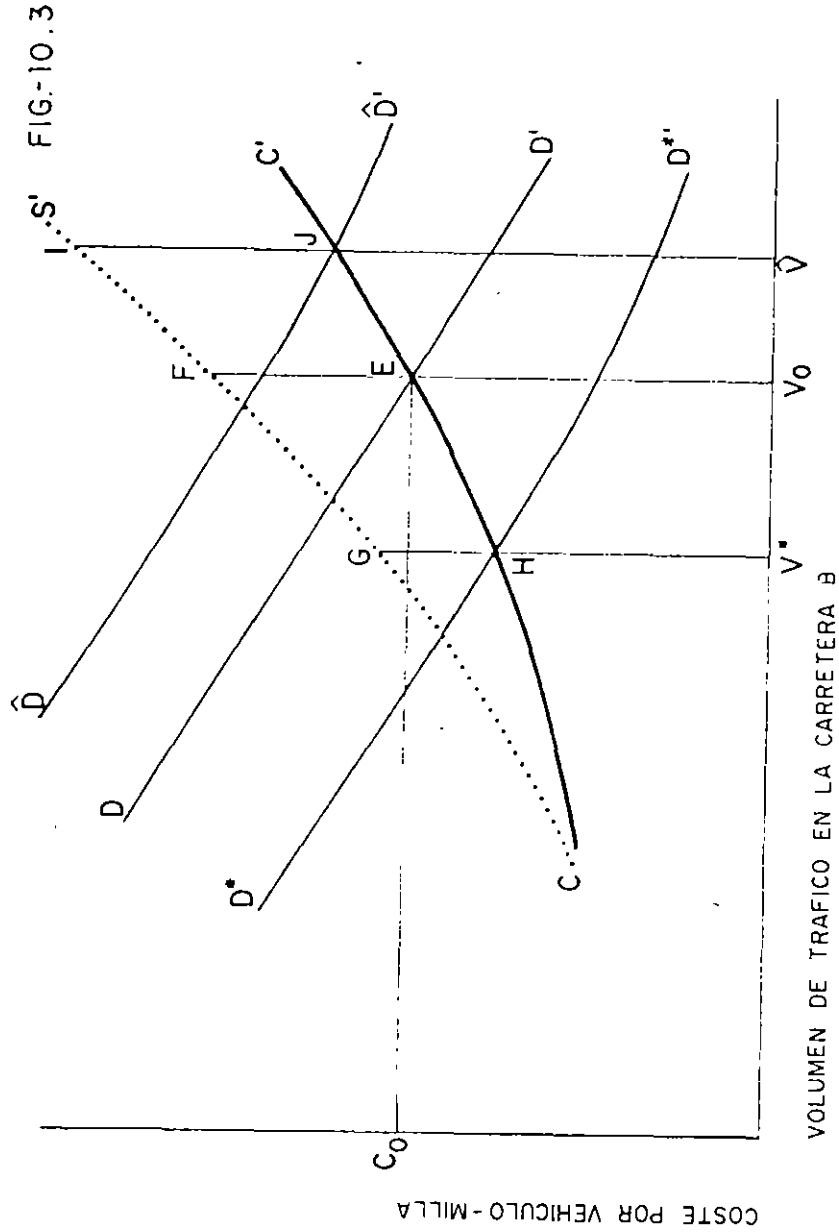
Si la carretera B es competitiva con la carretera A, la mejora de A será causa de que la curva de demanda de transporte por B se desplace hacia la izquierda, ocupando la posición, por ejemplo, D'D'', produciéndose un nuevo nivel de equilibrio de tráfico en  $V^*$ . El beneficio externo producido por la desviación de  $(V_0 - V^*)$  unidades de tráfico de la carretera B vendrá medido por el área EFGH.

Si la carretera B es complementaria de la A, la mejora de A producirá un desplazamiento hacia la derecha de la curva de demanda para viajar por la B hasta la posición, digamos,  $\hat{D} \hat{D}'$ , y logrando el volumen de equilibrio de tráfico en  $\hat{V}$ . El coste externo asociado al aumento en el volumen de tráfico sobre B vendrá medido en este caso por el área EFIJ.

A menos que el cambio en el volumen de tráfico sea grande en relación con su nivel inicial, el área EFGH o EFIJ pueden obtenerse de forma muy aproximada mediante la fórmula

$$C_0 f \Delta V (a - s_0) / s_0$$

$C_0$  es el coste inicial por vehículo-milla sobre la carretera B,  $f$  es la fracción de  $C_0$  correspondiente a los costes de tiempo,  $\Delta V$  es el cambio en el volumen de tráfico sobre la carretera B inducido por la mejora de la A,  $a$  es la velocidad media del tráfico fluido sobre carreteras del mismo tipo que la B y  $s_0$  es la velocidad media inicial de tráfico sobre la carretera B. Aquí,



$C_0$  es igual a la altura  $V_0E$ ;  $C_0f$  es aquella parte de  $V_0E$  correspondiente a los costes de tiempo, y  $(a-s_0)/s_0$  es la fracción de  $C_0f$  que representa el exceso de los costes sociales sobre los privados en la situación inicial. Por tanto,  $C_0f(a-s_0)/s_0$  es igual a la altura  $EF$ . En consecuencia, el criterio implicado en la fórmula entraña suponer que la distancia vertical entre  $CC'$  y  $CS'$  permanece constante en  $EF$  respecto del grado de cambio en el volumen de tráfico, en vez de aumentar hasta  $IJ$  en el caso de un creciente volumen de tráfico o disminuir hasta  $GH$  en el caso de un volumen menor.

Cuando el tráfico sobre un determinado número de carreteras es probable que se vea afectado por la mejora de A, la técnica esquematizada anteriormente debe ser aplicada a cada una de ellas. Esto conduce a una expresión para los efectos externos de la mejora de A, que es igual a

$$\sum_j C_{0j} f_j \Delta V_j (a_j - s_{0jk}) / s_{0jk}$$

donde los símbolos poseen el significado dado anteriormente, y el índice  $j$  varía respecto al número de otras carreteras sobre las cuales el volumen de tráfico se ve afectado por la mejora de la carretera A. En ocasiones puede ser necesario distinguir, para una carretera dada, entre periodos con diferentes volúmenes iniciales de tráfico. En esta circunstancia podemos definir distintos intervalos en el volumen de tráfico,  $V_{jk}$ , sobre la carretera  $J$ ; asociado a cada uno de tales intervalos existirá un nivel de costes privados,  $C_{0jk}$ , una fracción  $f_{jk}$  de tales costes que está representada por los costes del tiempo y una velocidad media de tráfico,  $s_{0jk}$ . Entonces, la medida de los efectos externos de la mejora de la carretera A se convierte en

$$E = \sum_{j,k} C_{0jk} f_{jk} \Delta V_{jk} (a_j - s_{0j}) / s_{0j}$$

Esta expresión habría de ser estimada para cada año de la vida esperada del proyecto A, y el valor

$$\sum_t (1+r)^{-t} E_t$$

debe restarse luego de valor actualizado estimado de los beneficios directos de A. Obsérvese que  $E$  será negativo si las carreteras sustitutivas predominan en la serie  $j$ , de manera que,

en este caso, los beneficios serán algebraicamente mayores después de efectuar el ajuste correspondiente a estos efectos externos <sup>107</sup>.

### Externalidades implicadas en el tráfico por ferrocarril.

Los problemas concernientes a las relaciones entre el transporte por carretera y por ferrocarril pueden llegar a ser muy complejos, debido a la dificultad de aislar los costes significativos del transporte por ferrocarril. Los costes marginales de transportar pasajeros adicionales o carga en trenes que se hallan en funcionamiento en cualquier circunstancia son, por supuesto, muy bajos; los costes marginales de poner en funcionamiento trenes adicionales en trayectos en los que las instalaciones de vías y estaciones se mantienen en condiciones de funcionamiento en cualquier circunstancia, se encuentran en un nivel intermedio, y los costes marginales de proporcionar servicio ferroviario en un tramo de vía frente a la alternativa de abandonar tal tramo son aún más altos.

En cuanto sigue supondremos que la relación básica entre el transporte por carretera y por ferrocarril es de sustituibilidad, esto es, que un proyecto de construcción o mejora de una carretera tenderá a reducir el volumen de tráfico ferroviario, en el caso de que ejerza algún efecto sobre él. Pasemos ahora a considerar una carretera de B a C, que discurre paralela a un ferrocarril que va de A a D. Supongamos también que el tramo de B a C no es sino una pequeña fracción de la distancia total de A a D, y que todos los trenes recorren la distancia

completa de A a D, parando al menos alguno de ellos en B y C.

Bajo las hipótesis anteriores es probable que la mejora de la carretera que va de B a C desviaré una parte del tráfico que de no ser por tal mejora circularía por el ferrocarril entre estos puntos. Sin embargo, no es probable que afecte al volumen de tráfico por ferrocarril que se desplaza desde A a B, entre C y D o entre A y D. En este caso, la desviación de tráfico del ferrocarril a la carretera no causará probablemente una reducción en el número y magnitud de los trenes que se mueven entre A y D; sucederá que poseerán mayor capacidad que antes sobre el tramo de B a C <sup>108</sup>. Cuando se desvía en esta forma el tráfico desde el ferrocarril a la carretera, nosotros medimos los beneficios brutos directos del tráfico desviado como el área bajo la curva de demanda de transporte por la carretera y los costes directos como los costes medios por vehículo-milla en la nueva situación, multiplicados por el número de vehículos-millas de tráfico desviado desde el ferrocarril. ¿Qué hemos dejado de considerar aquí? En primer lugar, el tráfico desviado cesa de beneficiarse del uso del ferrocarril; nosotros medimos estos beneficios a los que se renuncia por los precios de los pasajes y tarifas de la carga que este tráfico desviado hubiera satisfecho al ferrocarril en ausencia de la mejora. En segundo lugar, el ferrocarril no va a soportar ya más el coste marginal de transportar el tráfico desviado. Es probable que éste sea muy bajo en relación a las tarifas en el caso que estamos considerando ahora. El efecto externo neto será, por tanto, casi con toda seguridad, negativo y vendrá medido por

$$\sum_i (F_i - R_i) \Delta X_i$$

donde  $F_i$  es el precio o tarifa para el tipo  $i$  de tráfico por ferrocarril,  $R_i$  es el coste marginal ligado al transporte de ese tráfico y  $X_i$  es el cambio en el volumen, inducido por la mejora de la carretera, del tipo  $i^{\text{th}}$  de tráfico por ferrocarril. En algunos casos de este tipo, los costes marginales del transporte por ferrocarril pueden ser tan bajos que se pueden despreciar sin cuidado alguno, en cuya circunstancia la medida del efecto ex-

<sup>108</sup> Puede originarse alguna reducción en el tamaño de los trenes como consecuencia de la mejora de la carretera si antes de la citada mejora los volúmenes de tráfico más densos por ferrocarril lo fueran entre B y C. En este caso, la demanda de transporte por ferrocarril entre B y C constituiría el factor determinante que regiría el tamaño y/o número de trenes, y una reducción en tal demanda permitiría trenes más cortos y/o en menor número. En el texto suponemos que el tramo BC no posee esta característica.

<sup>107</sup> Puede ser también aconsejable un ajuste similar del análisis para que tenga en cuenta los diferentes volúmenes de tráfico en diferentes momentos en el estudio de los beneficios directos de una mejora de carretera que se esquematizó en la sección II. Entonces el primer término de la expresión (1) se convertiría en

$$\sum_i (1+r)^{-t} \sum_k (c_{ik} - c'_{ik}) V_{ik}$$

y la expresión (2) se convertiría en

$$\frac{1}{2} \sum_i (1+r)^{-t} \sum_k (c_{ik} - c'_{ik}) (V'_{ik} - V_{ik})$$

Este ajuste nos permite tomar en cuenta el hecho de que los beneficios de la mejora de una carretera es probable que sean mayores por vehículo-milla en períodos de alta densidad de tráfico que en períodos de un volumen muy bajo que discurra fluidamente.

terno neto producido por la mejora en la carretera se convierte en

$$\sum F_1 \Delta X_i$$

que es igual a la pérdida de ingresos para el ferrocarril ocasionada por el proyecto de carretera.

Se da un caso intermedio cuando la desviación del tráfico hacia la carretera permite al ferrocarril reducir el número y/o dimensiones de sus trenes. Puede ocurrir esto en un tramo como el BC, si previamente tal tramo soportara los volúmenes de tráfico ferroviario más densos y, por ende, determinara la magnitud de un número determinado de trenes. Sin embargo, es más probable que tenga lugar cuando el proyecto de carretera conecta una de las terminales principales del ferrocarril con algún punto intermedio —por ejemplo, si el proyecto de carretera es entre C y D—. En este caso, algunos de los trenes que previamente iban de A a D podrían ser descargados ahora en C, reduciendo, por tanto, la cantidad de equipo que el ferrocarril habría de manejar y mantener, y los gastos de personal necesarios para el funcionamiento y mantenimiento del ferrocarril.

De acuerdo con lo anterior ha de sumarse la reducción de estos costes a  $\sum (F_1 - R_i) \Delta X_i$  antes de llegar a nuestra estimación del efecto externo neto asociado a la desviación del tráfico del ferrocarril. Sin embargo, en la práctica, los ahorros añadidos es improbable que sean lo suficientemente grandes como para convertir una deseconomía neta en un beneficio externo neto.

Un caso final tiene lugar cuando el proyecto de carretera permite el abandono de un tramo de vía. Para que esto suceda el proyecto de carretera debe casi por necesidad enlazar un punto terminal con uno intermedio a lo largo de la carretera. Aquí, los ahorros incluyen no sólo los costes marginales directos de acarreo, y el coste de equipo y mantenimiento ahorrados como consecuencia de la reducción de los niveles de tráfico, sino también los costes de mantenimiento y reparación de las vías y de la estación, etc., sobre el tramo de vías a abandonar. Además, en general, el derecho de paso del ferrocarril, y su estación y propiedades anejas al tramo abandonado poseerán una utilización económica alternativa; por tanto, hay que computar el valor de estas propiedades en sus utilidades alternativas como un beneficio indirecto del proyecto de mejora de la carretera.

Sin embargo, nos queda por discutir aún un coste derivado del abandono. Este coste proviene del hecho de que hasta tan-

to no se abandone el tramo de ferrocarril, cualquier desviación de tráfico que tenga lugar del ferrocarril a la carretera es voluntaria, en tanto que cuando tiene lugar el abandono, parte del tráfico, para el que habría supuesto una ventaja el uso del ferrocarril incluso ante la presencia de la mejora de la carretera, debe cesar de utilizar el ferrocarril contra sus deseos. En las figuras 10.4 y 10.5 se refleja esta situación.

La figura 10.4 muestra la situación en que se hallaba la carretera antes y después de la mejora.  $C_1C'_1$  representa los costes unitarios privados de desplazamiento por la carretera antes de la mejora;  $C_2C'_2$ , los mismos costes, una vez efectuada ésta.  $D_1D'_1$  es la curva de demanda de los servicios de la carretera en la hipótesis de que el ferrocarril esté en funcionamiento y transportando el nivel de pasaje OF (de la figura 10.5);  $D_2D'_2$  es la curva de demanda de los servicios de la carretera en el supuesto de que se haya abandonado el ferrocarril.  $C^*_1$  y  $V_1$  son los niveles iniciales de costes unitarios y volumen de tráfico por la carretera;  $C^*_2$  y  $V_2$  son los niveles de equilibrio una vez que se ha producido la mejora en la carretera y el ferrocarril ha sido abandonado. En este caso, la medida de los beneficios directos es el área  $C^*_1MNC^*_2$  de la figura 10.4. El rectángulo  $C^*_1MRC^*_2$  representa el beneficio percibido por el tráfico que habría utilizado la carretera sin mejorar en cualquier circunstancia; el triángulo MNR representa el beneficio neto percibido por aquellos que no habrían utilizado la carretera a un coste unitario  $C^*_1$ , pero la habrían usado a un coste unitario  $C^*_2$ , incluso si funcionara el ferrocarril. MNR incluye los beneficios obtenidos por quienes habrían cambiado de manera voluntaria del ferrocarril a la carretera a un coste de carretera de  $C^*_2$ . El área  $NPV_2V'_2$  representa los costes en que se incurre al viajar por carretera correspondientes al tráfico que se ha desviado involuntariamente a ella desde el ferrocarril a causa del abandono del servicio de este último. A este tráfico no se puede atribuir beneficio alguno, porque la naturaleza de la transferencia es completamente involuntaria; aquí lo que se halla implicado es, en realidad, un coste neto. Esto se muestra en la figura 10.5, donde  $D_3D'_3$  representa la curva de demanda de los servicios del ferrocarril cuando los costes unitarios de viaje por carretera son  $C^*_1$ , y  $D_4D'_4$  representa lo mismo bajo la hipótesis de que los costes unitarios del transporte por carretera son  $C^*_2$ . El área GHIJ representa los precios pagados por aquellas unidades de tráfico que se pasaron voluntariamente del ferrocarril a la carretera como consecuencia de la mejora de ésta. Estas unidades de tráfico cambian, cuando se reducen los costes de viajar por carretera, en el punto en que el coste de viajar por ferrocarril supera apenas a los beneficios obteni-

COSTE UNITARIO DE DESPLAZAMIENTO SOBRE LA CARRETERA

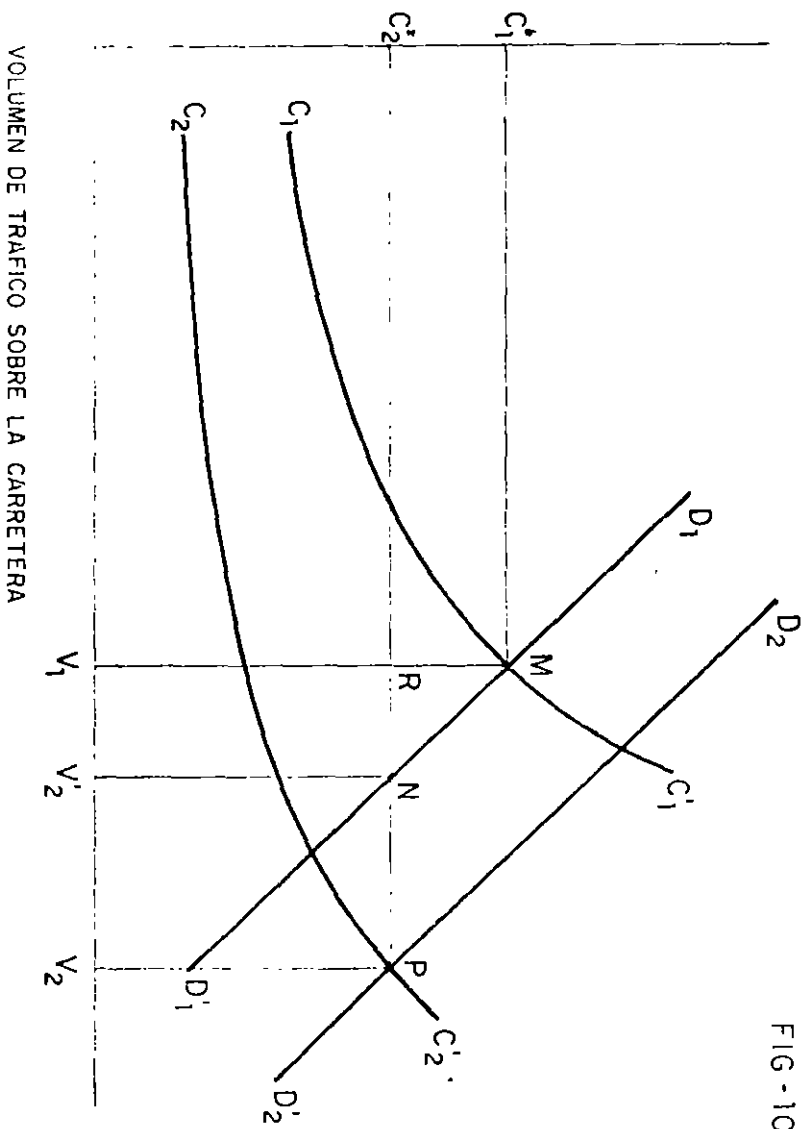


FIG-10.4

TARIFA

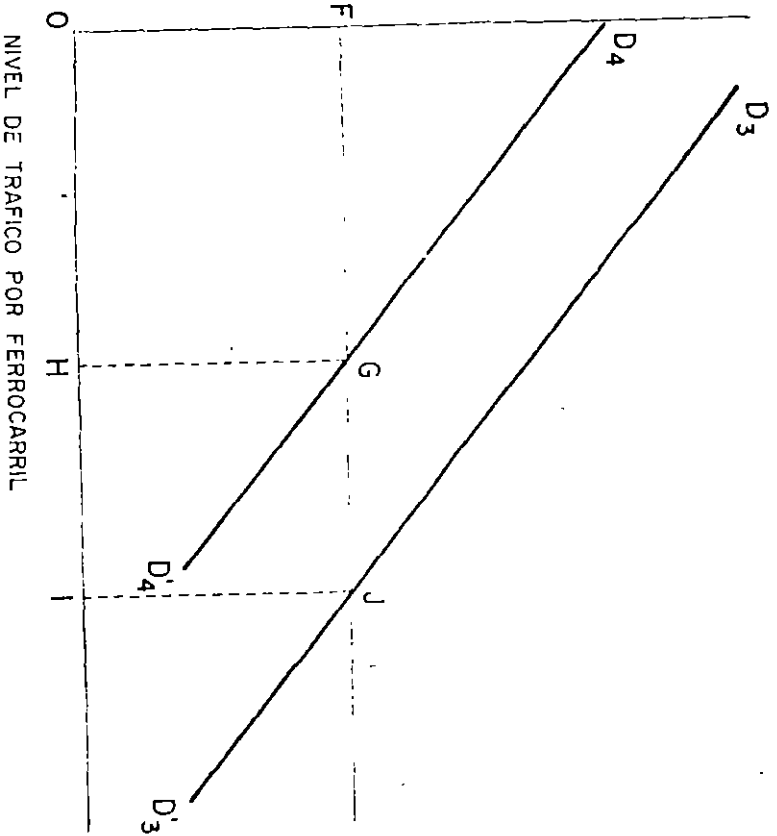


FIG-10.5



dos de tal viaje. Por tanto, desde un punto de vista privado, los beneficios a que se renuncia cuando se cesa de utilizar el ferrocarril son escasamente compensados por las tarifas ahorradas.

La situación es diferente para aquellos que se ven forzados a dejar de utilizar el ferrocarril a causa de su abandono. Sus beneficios como consecuencia del uso del ferrocarril vienen medidos por el área OD<sub>4</sub>GH, en tanto que sus costes lo son por OFGH. Desde un punto de vista privado, por tanto, se produce una pérdida como consecuencia del abandono del ferrocarril representada por el triángulo D<sub>4</sub>GF.

Para resumir, el beneficio neto y la situación de coste de un proyecto de mejora de carreteras que implique el abandono del servicio de un tramo competitivo de ferrocarril serían:

a), el valor actualizado de los ahorros en los costes para los usuarios de la carretera (representado por C\*,MNC\*);

menos b), el valor actualizado de aquellos costes privados netos asociados al abandono del ferrocarril (representado por D<sub>4</sub>GH);

menos c), el valor actualizado del exceso de las tarifas ferroviarias sobre los costes marginales directos de funcionamiento;

más d), el valor actualizado de los ahorros para el ferrocarril procedentes de una disminución del equipo, costes de mantenimiento y funcionamiento de las estaciones y otros;

más e), el valor actualizado de mercado de los usos alternativos de las propiedades a abandonar.

A menudo es cierto que los beneficios netos de una mejora de carretera, junto con el abandono de un tramo competitivo de línea férrea, son decididamente positivos. Esto sucede generalmente cuando el coste total del mantenimiento del servicio ferroviario en el tramo (incluyendo d) y e), anteriormente definidos) supera al beneficio del funcionamiento representado por c). Las fuertes y continuadas pérdidas de, por ejemplo, los ferrocarriles de Argentina indican que tales casos no son tan poco frecuentes como parece, y que un programa juicioso de mejoras de carreteras demostraría rendir beneficios externos netos asociados al abandono de la línea férrea. Sin embargo, cuando no se halla implicado el abandono del ferrocarril existe una fuerte presunción de que los efectos externos asociados a la desviación del tráfico desde el ferrocarril a la carretera serán negativos.

## V. ALGUNAS IMPLICACIONES Y GENERALIZACIONES

Hasta ahora hemos establecido los principios básicos y procedimientos a aplicar en el análisis de los costes y beneficios

de los proyectos de carreteras. En esta sección intentaremos presentar algunas conclusiones más generales que se han indicado o se hallan implícitas en el análisis precedente. Discutiremos sucesivamente: a), niveles críticos de tráfico; b), fases de construcción; c), el problema del tiempo; d), el problema de la construcción de tramos; y e), el problema carretera-ferrocarril.

### Niveles críticos de tráfico.

En la sección II se demostró que el principal beneficio directo de la mejora de una carretera consistía en la reducción de los costes para los usuarios de la misma correspondientes al tráfico que en cualquier circunstancia habría viajado por la carretera sin mejorar. Por tanto, cuanto mayor sea el volumen de tráfico, mayor será el beneficio previsto. Esto es cierto no sólo porque los beneficios crecen para un mayor tráfico, sino también porque los ahorros de coste por vehículo asociados a una mejora dada es probable que sean mayores para volúmenes más altos de tráfico que para otros más bajos. Este efecto surge de los hechos de que los costes por vehículo aumentan a un ritmo creciente con el volumen de tráfico, y que su tipo de crecimiento para cualquier volumen dado de tráfico es mayor para las carreteras deficientes que para otras en mejor estado.

Desde el momento en que los beneficios se hallan tan íntimamente relacionados con el volumen de tráfico, es posible, para cualquier carretera dada, estimar el nivel crítico de tráfico para el que sería rentable mejorarla. Además, dado que la situación de costes viene determinada básicamente por el tipo de carretera y por la estructura de precios y salarios del país que se considere, sería posible para las autoridades de un país desarrollar análisis que mostraran para qué nivel de tráfico sería normalmente rentable mejorar una carretera transformándola de tierra a grava, de grava a pavimento, o de dos carriles pavimentados a cuatro, por ejemplo. Tales análisis podrían contener más detalles útiles, especificando los niveles críticos de tráfico para un tipo de mejora dado de acuerdo con la pendiente, necesidades de drenaje, naturaleza del subsuelo y así sucesivamente.

En cualquier caso, hay que utilizar los niveles críticos de tráfico como guías generales de la política, no como sustitutos de un análisis detallado de los costes y beneficios de cada carretera. Empleados en forma adecuada, cumplen la función de alertar a las autoridades responsables de las vías públicas respecto de qué tramos de carretera han de ser considerados can-

didatos a la mejora, posibilitándoles para emplear su personal de evaluación de proyectos de la mejor manera posible.

Un aspecto notable de los niveles críticos de tráfico es que es probable que varíen considerablemente de país a país. No solamente presentan significativas variaciones según el país los costes de construcción, sino que también los beneficios asociados a una mejora determinada para niveles dados de tráfico son ampliamente distintos en los diversos países —en gran medida debido a las extremas diferencias que existen en el valor del tiempo—. Es altamente probable, por tanto, que el nivel crítico de tráfico que justificaría la pavimentación de una carretera fuera mucho más alto en la India, donde el componente de los beneficios por ahorro de tiempo es insignificante, que en los Estados Unidos, donde el ahorro de tiempo es probable que sea el mayor componente de los beneficios totales. En consecuencia, debemos mostrarnos extremadamente cautos al «exportar» a otros países niveles críticos de tráfico sobre la base de la situación que prevalezca en un país en particular.

### Construcción por fases.

A la luz del análisis precedente, la estrategia de la construcción de carreteras por fases posee un elevado atractivo. Tal estrategia entrañaría la transformación de una carretera de tierra en grava cuando el nivel de tráfico fuera el suficiente para justificar tal operación, la pavimentación cuando el tráfico hubiera aumentado tanto como para que tal mejora fuera útil y la adición de vías adicionales cuando tal inversión estuviera justificada a su vez en vista del nivel de tráfico.

El principal argumento esgrimido contra la estrategia de la construcción por fases lo constituye la afirmación de que probablemente es más costosa de llevar a cabo la operación mediante una serie de inversiones encaminadas al logro de una mejora paulatina que el construir, de una vez por todas, una carretera de mayor calidad que pudiera estar justificada por los niveles reales de tráfico. El problema del tiempo se discutirá en forma directa en la próxima sección; por lo tanto nos concentraremos aquí en la cuestión del coste diferencial de la construcción por fases versus la construcción unitaria.

Un reciente estudio del Banco Mundial referente a la valoración de un proyecto de carreteras en el Irán proporciona costes estimados de la construcción de una carretera en dos fases —primero con grava y luego pavimentada—. Los costes de una carretera de cinco metros de ancho fueron estimados en 2,77 millones de rials por kilómetro; los costes incrementales de pa-

vimentar y ampliar a seis metros son de 2,0 millones de rials por kilómetro. Los costes totales de la construcción en una sola fase de una carretera pavimentada de seis metros de ancho son de 4,5 millones de rials por kilómetro. Por tanto, el exceso de los costes de la construcción por fases se sitúa en un 5 por 100. Similares estimaciones para la construcción por fases de una carretera de grava de seis metros de ancho, ampliada más tarde a siete metros y pavimentada, arrojan un coste de 3,6 millones de rials por kilómetro en la primera fase y de 2,60 millones de rials para la segunda fase, comparado con el de 5,77 millones de rials por kilómetro para la construcción en una sola fase de una carretera pavimentada de siete metros de ancho<sup>109</sup>.

Evidentemente, el exceso de costes de la construcción por fases es algo que hay que analizar para cada caso en particular y compararlo con los beneficios adicionales que puede proporcionar una carretera de mejor calidad. A pesar de ello, los datos del Irán sugieren que la construcción por fases es probable que merezca la pena. En el primer ejemplo el exceso de costes de la construcción por fases era de 0,27 millones de rials por kilómetro. Para una tasa de descuento del 10 por 100 (que no es realmente excesiva para un país en vías de desarrollo), los ahorros de intereses por la posposición serían suficientes para compensar este exceso en los costes incluso si la posposición de la segunda fase no fuera a ser mayor de 1,1 años. Para la segunda serie de datos, el exceso en el coste de 0,29 millones de rials por kilómetro pudiera ser compensado nuevamente por el ahorro de intereses implicados en la posposición de la segunda fase durante un tiempo tan corto como 1,1 años.

No es probable que los beneficios incrementales de la construcción en una sola fase la justifiquen, a menos que los niveles de tráfico estén bastante por encima de los necesarios para aconsejar su puesta en marcha. Sea  $V_1$  el nivel crítico de tráfico que justificaría la construcción de una carretera de grava y  $V_2$  el que justificaría su mejora transformándola en una carretera pavimentada. Supongamos que el tráfico acaba de alcanzar en este momento el nivel  $V_1$  y se espera que alcance el  $V_2$  en  $t^*$  años. Sea  $K_1$  el coste de capital para construir la carretera de grava y  $K_2$  el de la carretera de hormigón, y  $K_2^*$  el coste de sustituir la grava por el hormigón.

El valor actualizado del ahorro de costes correspondientes a la construcción por fases será entonces  $(K_2 - K_1) - K_2^*(1+r)^{-t^*}$ . El factor  $(1+r)^{-t^*}$  es igual a aproximadamente 0,6 para  $r=0,10$

<sup>109</sup> Herman G. van der Tak y Jan de Weille, «An Economic Reappraisal of a Road Project», IBRD Informe número EC-147, p. 48.

y  $t^*=5$  años, y a aproximadamente 0,36 para  $t^*=10$  años. Si, como indican los datos del Irán,  $K_1$  es igual a  $0,6K_2$  y  $K^*_2$  es igual a  $0,45K_2$ , el valor actualizado del ahorro en el coste será igual a  $0,13k_2$  cuando  $t^*=5$  años y  $0,24K_2$  cuando  $t^*=10$  años. Siendo el coste de la carretera de grava  $0,6k_2$ , esto significa que los beneficios adicionales de poseer una carretera pavimentada en lugar de una de grava durante los primeros  $t^*$  años habrían de ser el 22 por 100 de los costes totales de la carretera de grava en orden a justificar la construcción en una sola fase si el tráfico creciera tanto como para aconsejar la segunda fase en cinco años, y habrían de ascender a aproximadamente el 40 por 100 del coste total de la carretera de grava si  $t^*$  fuera igual a diez años. Ha de insistirse en que estos beneficios extras serían justamente aquellos que se acumulan durante el período que media entre la construcción de la carretera de grava y su futura transformación en otra pavimentada, porque de acuerdo con  $t^*$ , los beneficios de la construcción en una fase o en dos serían los mismos.

Concluimos, por tanto, afirmando que aunque en principio habría de examinarse cada caso en relación con sus propios méritos, existe una fuerte presunción de que la construcción por fases demostrará ser la estrategia óptima en la mayor parte de las ocasiones. Además, la construcción por fases posee la ventaja adicional de permitir que las decisiones de inversión se basen en los volúmenes existentes observados de tráfico más que en las predicciones de un futuro crecimiento que pudieran estar sujetas a errores sustanciales. En el ejemplo que se acaba de presentar, el hecho de que el tráfico sobre una carretera de tierra haya alcanzado el nivel  $V_1$  sería suficiente para justificar la inversión en una carretera de grava, siempre que no se esperara que el tráfico fuera a reducirse en el futuro. La autoridad responsable podría esperar, en un sistema de construcción por fases, hasta ver cuándo el tráfico aumentaría hasta  $V_2$  de manera que estuviera justificada la pavimentación de la carretera.

Si, por otra parte, la citada autoridad intenta justificar ahora la construcción de una carretera pavimentada debe ser sobre la base de una predicción de cuándo se alcanzará en el futuro el nivel de tráfico  $V_2$ . Si esta autoridad yerra en su predicción en el sentido de subestimar el crecimiento real del tráfico, puede en algunos casos decidir sobre la construcción multifásica cuando la de una fase habría estado justificada económicamente. Sin embargo, el coste de este tipo de error es probable que sea pequeño a causa del escaso exceso de los costes de la construcción multifásica sobre la de una sola fase. Si, por otra parte, la autoridad competente yerra en el sentido de subestimar el

crecimiento real del tráfico, el error puede ser, por supuesto, muy costoso, porque el tráfico puede no alcanzar el punto en que estaría justificada la siguiente fase de mejora durante quince o veinte años o tal vez no lo alcance nunca. La falta de simetría en el coste de los errores de predicción de los dos tipos debe por tanto influenciar la elección de la autoridad en la dirección de la construcción multifásica.

### El problema del tiempo.

En esta sección vamos a discutir el problema del tiempo en relación a las inversiones en carreteras, un problema que es de fácil solución por la típica naturaleza de la corriente de beneficios producidos por las carreteras. Con ciertas restricciones poco importantes, se puede decir que el volumen de tráfico soportado por una carretera y, por ende, los beneficios de esa carretera, dependerá en cualquier momento de la calidad de la misma y no en un grado significativo de cuándo alcanzará la carretera ese nivel de calidad. Además, en la mayor parte de los casos, el modelo normal de comportamiento del tráfico sobre una carretera es el crecimiento con el tiempo.

Estas dos características —beneficios dependientes del calendario temporal, pero no de la edad del proyecto, y una creciente corriente de beneficios a través del tiempo— hacen que el problema del tiempo sea susceptible de una solución verdaderamente simple. Supongamos que tenemos una carretera de grava y estamos sometiendo a consideración su pavimentación. Sea  $B_t$  el flujo de beneficios no descontados (ahorros de los usuarios de la carretera más ahorros por mantenimiento más beneficios externos netos que provendrán de poseer una carretera pavimentada en vez de una de grava en el año  $t$ ). Sea  $K$  el coste de pavimentar la carretera.

Si bajo estas hipótesis nos enfrentamos al problema de pavimentar la carretera en el año 0 o en el 1, debemos reconocer que, independientemente de cuál de estas decisiones adoptemos, podrán disfrutarse los beneficios de poseer la carretera desde el año dos en adelante. La pérdida de beneficios por la posposición de la pavimentación durante un año serán los de ese año —por ejemplo,  $B_1$ —. Las ganancias a obtener por la posposición serán las de la utilización de la cantidad  $K$  de fondos invertibles durante un año; esto lo medimos por  $rK$ , donde  $r$  representa, al igual que antes, la tasa de descuento a utilizar en el análisis coste-beneficio, y refleja la productividad que podrían rendir los recursos invertibles en usos marginales alternativos.

Por tanto, la respuesta al problema es simple: posponer

cuando  $rK > B_t$ ; pavimentar cuando  $rK < B_t$ . Esto nos lleva a la norma de que la construcción ha de hacerse en un momento tal que los beneficios en el primer año siguiente a la misma excedan por primera vez a la tasa de descuento multiplicada por el coste de capital.

Se plantea una ligera complicación cuando se espera que los costes de construcción cambien con el tiempo. Si los costes de construcción suben, ganamos construyendo en el año cero no sólo el flujo de beneficios en ese año, sino también el ahorro en los costes de construcción ( $K_1 - K_0$ ) correspondientes a la anticipación de la construcción. Por tanto, la regla se modifica ahora en la forma siguiente: posponer cuando  $rK_t > B_{t+1} + (K_{t+1} - K_t)$ ; cuando  $rK_t < B_{t+1} + (K_{t+1} - K_t)$ , invertir en el proyecto. Esta misma regla se aplica cuando se espera que los costes de construcción vayan a disminuir; entonces la expresión ( $K_{t+1} - K_t$ ) es negativa, incrementándose la probabilidad de que lo más indicado sea la posposición.

La hipótesis de que  $B_t$  aumentará con el tiempo justifica que si  $B_t > rK$ , el valor descontado de todos los beneficios futuros

$$\sum B_t(1+r)^{-t}$$

será mayor que  $K$  (que aquí se supone constante con el tiempo). Este es el único caso en que es relevante la característica de beneficios crecientes. Si se espera que la futura corriente de beneficios vaya a aumentar durante un período y a disminuir luego (por ejemplo porque se construyan carreteras competitivas), el criterio básico de  $B_t > rK$  continúa siendo válido en tanto en cuanto se reflere al tiempo. Una vez se ha determinado esta cuestión, procede efectuar una ulterior comprobación para asegurarse de que

$$\sum_t B_t(1+r)^{-t}$$

es mayor que  $K_0$ . Si lo es, el año cero es el momento óptimo para la construcción del proyecto.

De manera semejante, cuando se espera que los costes de construcción varíen, el criterio de  $B_{t+1} + (K_{t+1} - K_t)$  mayor que  $rK_t$  continúa siendo una condición necesaria para construir en el momento  $t$ . Pero si los beneficios esperados no continúan creciendo en forma indefinida en el futuro, la condición adicional de que el valor actualizado de los beneficios futuros esperados supere al coste de capital del proyecto ha de cumplirse también para justificar la construcción. Si  $K$  es una función creciente del tiempo, las condiciones anteriores son suficientes

para justificar la construcción; si  $K$  es una función decreciente del tiempo se hace precisa una posterior comprobación:

$$\sum_{t=0}^{t^*} B_t(1+r)^t$$

debe exceder a  $K_0 - K_{t^*}(1+r)^{-t^*}$  para todo  $t^* > 0$ <sup>10</sup>.

En esta sección hemos llegado a la conclusión de que en la mayor parte de los casos las decisiones relativas al tiempo en las mejoras de carreteras habrán de regirse por el valor de los beneficios en el primer año de funcionamiento de la carretera mejorada. Desde el momento en que estos beneficios se hallan íntimamente ligados al volumen existente de tráfico sobre la carretera no mejorada, la adecuación de adoptar las decisiones de inversión fundamentalmente sobre la base de niveles de tráfico existentes e inmediatamente futuros es algo que hay que establecer. Pueden obtenerse beneficios en un futuro lejano construyendo más tarde; por tanto, no hay necesidad económica de «construir por delante de la demanda» en cuanto concierne a las mejoras en carreteras.

### El problema de la construcción de tramos.

El anterior análisis nos sugiere también que debería llevarse a cabo la mejora a distintos niveles sobre los diversos tramos de una carretera dada, dependiendo del volumen de tráfico

<sup>10</sup> Todos los criterios obtenidos en esta sección provienen de la proposición básica de que el momento adecuado para la construcción de un proyecto es aquel para el cual el valor actualizado neto del mismo sea mayor, cuando el cálculo de dicho valor se lleva al mismo período temporal para todas las fases de construcción comparadas. El valor actualizado neto de la construcción del proyecto en el momento cero es

$$\sum_{t=1}^{\infty} B_t(1+r)^{-t} - K_0 \quad (a)$$

el valor actualizado neto en el momento cero de la construcción del proyecto en el momento  $t^*$  es

$$\sum_{t=t^*+1}^{\infty} B_t(1+r)^{-t} - K_{t^*}(1+r)^{-t^*} \quad (b)$$

La última condición del texto establece simplemente que al objeto de que la construcción en el momento cero sea óptima, (a) debe superar a (b) para todo  $t^*$ . Puede hallarse una buena discusión de carácter general respecto del problema del tiempo, en la que se tratan estas cuestiones, en Stephen A. Marglin, «Approaches to Dynamic Investment Planning», Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 1963, cap. 2.

que soportan. No hay razón para que la carretera de A a D no pueda contener un tramo pavimentado de A a B, uno de grava de B a C y otro de tierra de C a D si estas son las calidades de carretera que los niveles de tráfico sobre los respectivos tramos justifican. Se puede estar seguro de que se han desperdiciado enormes cantidades de recursos de inversión (en el sentido de conseguir rendimientos menos que económicos) como consecuencia de la inclinación de las autoridades responsables a construir todos los tramos de una carretera según un mismo nivel de calidad. A diferencia del caso de la construcción por fases, donde algunos pequeños ahorros de costes pueden hallarse implicados en la construcción en una sola fase, la construcción de una carretera por tramos es probable que no sea más costosa que como proyecto único, de aquí que la construcción uniforme de toda la carretera no sea justificable por consideraciones de costes. Por tanto, debemos contemplar el lado de los beneficios para justificar el construir la longitud total de una carretera dada según un mismo nivel de calidad. Ciertamente que existirán casos en los que se halle justificada esta decisión, como cuando se dé la característica de que cada uno de los distintos tramos de carretera está soportando aproximadamente la misma intensidad de tráfico. Sin embargo, la mayor parte de las carreteras de gran longitud no poseen este atributo; de aquí que debemos concluir que las estrategias óptimas de inversión en carreteras no sean probablemente seguidas en la mayor parte de los casos en que aquéllas se construyen siguiendo un único standard de calidad en toda su longitud.

Hay que introducir, sin embargo, una objeción menor en el anterior juicio, que nace de los efectos externos de las mejoras de las carreteras. La pavimentación de un tramo de la carretera AB originará un incremento del tráfico sobre el tramo sin pavimentar BC, porque éste es el acceso a o desde AB para parte de su tráfico adicional. Por tanto, el hecho de que AB esté pavimentado aumentará los beneficios a obtener de la pavimentación de BC.

Sea B el valor actualizado total de los beneficios (directos e indirectos) que se acumularían en el caso de pavimentación de toda la carretera AC, y  $B_1$  el valor actualizado total de los beneficios de pavimentar tan sólo el tramo AB, siendo  $B_2$  el beneficio total de pavimentar el tramo BC tan sólo. A causa de la complementariedad entre AB y BC, a la que hemos aludido con anterioridad, nos encontramos con que  $B_1 + B_2 < B$ . Sea  $B_3$  el valor actualizado de los beneficios de pavimentar el tramo BC, dado que AB está ya pavimentado.  $B_1 + B_3$  será igual a B, dado que los dos proyectos en conjunto ascienden a la pavimentación de toda la carretera AC.

Si  $K_1$  representa el coste de pavimentar AB,  $K_2$  el de pavimentar BC y  $K (=K_1 + K_2)$  el coste de pavimentar toda la carretera AC, se plantea la posibilidad de que no mereciera la pena pavimentar solamente BC ( $K_2 > B_2$ ), sino que si se pavimentara el tramo AB, también sería rentable pavimentar el BC ( $K_2 < B_3$ ). Incluso es posible que no fuera rentable la pavimentación de AB o BC sólo ( $K_1 > B_1$  y  $K_2 > B_2$ ), sino que estaría justificada la pavimentación de ambos tramos ( $K = K_1 + K_2 < B = B_1 + B_3$ ).

Todas estas posibilidades se deben a la relación de complementariedad entre tramos adyacentes de la misma carretera. El grado de su relevancia es probable que dependa de la diferencia entre los niveles de tráfico sobre los dos tramos AB y BC. Si el nivel crítico de tráfico que exija la pavimentación de solamente uno de los tramos es de 1.000 vehículos por día, y si el tráfico ha alcanzado ese nivel en AB, pero tan sólo el de 500 vehículos por día en BC, no hay una justificación adecuada para pavimentar BC una vez pavimentado AB. Esta última pavimentación está justificada incluso teniendo en cuenta las deseconomías correspondientes a un incremento del nivel de tráfico en BC. Sin embargo, el incremento en el tráfico de BC inducido por la pavimentación de AB será tan sólo una parte del aumento en el tráfico sobre AB; pudiera llegar posiblemente a 50 vehículos por día, pero sería absurdo suponer que la pavimentación de AB originara que un tráfico sobre BC de 500 vehículos por día alcanzara una cifra cercana al millar. (Si se requiere el paso de 1.000 vehículos por día para justificar la pavimentación de BC únicamente, una cifra escasamente inferior a 1.000 sería suficiente para justificar la pavimentación de BC cuando también se pavimenta AB, porque las deseconomías externas asociadas a la pavimentación de BC serán en el último caso ligeramente inferiores al primero.) Podemos sacar la conclusión, por tanto, de que si el tráfico sobre BC está muy próximo al nivel que justificaría la pavimentación de ese tramo tan sólo, el pavimentarlo puede resultar rentable cuando también se pavimenta AB. Sin embargo, si el tráfico sobre BC es significativamente inferior al nivel crítico, es altamente improbable que su pavimentación sea rentable, independientemente de si se pavimenta o no el tramo AB. Desde el momento en que en el mundo real se producen grandes disparidades entre los niveles de tráfico sobre determinadas carreteras, debemos sostener, a pesar de la anterior puntualización, nuestra conclusión general de que normalmente será óptimo mejorar los diferentes tramos de una carretera dada en intervalos de tiempo ampliamente separados, y que en un momento dado la carretera debe comprender tramos de diferentes calidades.

## El problema ferrocarril-carretera.

En la sección IV se mostró que siempre que un proyecto de carretera redujera el tráfico sin dar lugar al abandono de parte de la línea férrea, la desviación del tráfico del ferrocarril representaría con toda probabilidad un efecto externo negativo del proyecto de carretera. El importe de la deseconomía externa vendrá representado por el importe de las tarifas que el ferrocarril dejaría de recaudar, menos cualquier ahorro de costes que experimentara el ferrocarril como consecuencia de la reducción en el volumen de su tráfico. En estos casos de no abandono, por lo tanto, la única cuestión que se plantea es la de tomar en cuenta la deseconomía externa en el momento de evaluar el proyecto de carretera. Si sus beneficios, ajustados en esa forma, exceden a sus costes, el proyecto se hallará justificado a pesar de su efecto negativo sobre el tráfico ferroviario.

Cuando existe la probabilidad del abandono de un tramo de vía como consecuencia de un proyecto de carreteras, los ahorros de coste para el ferrocarril serán con toda seguridad mayores que en el caso de no existir abandono, siendo posible incluso el que estos ahorros sean lo suficientemente grandes para convertir lo que de otra manera habría sido una deseconomía externa en una economía de carácter externo atribuible al proyecto de carretera. Para que esto tenga lugar, el valor actualizado de los ahorros en los costes para el ferrocarril, incluyendo el valor de sus propiedades abandonadas dedicadas a usos alternativos, debe superar al valor actualizado del importe de los pasajes y tarifas de carga que habrían sido abonadas por el tráfico sobre la línea abandonada en ausencia del proyecto de carretera. En resumen, el tramo de vía abandonada no debería ser rentable incluso en ausencia del proyecto de carretera, al objeto de que el abandono origine un beneficio externo neto para la inversión en esta última. Este caso es significativo porque, por razones políticas y de otro tipo, muchos tramos de vía sobre los que circulan los trenes se mantienen en funcionamiento independientemente de sus pérdidas netas. En consecuencia, un proyecto de carretera puede, proporcionando instalaciones alternativas de comunicación de adecuada calidad, reducir la oposición política al abandono del ferrocarril de manera que haga posible el cambio.

Entonces bajo las circunstancias de a), abandono de la vía, y b), falta de rentabilidad del tramo abandonado en ausencia del proyecto de carretera, puede existir un efecto positivo externo del proyecto de carretera respecto de las operaciones de una línea férrea competitiva. El que el efecto sea o no positivo depende de si la pérdida en el excedente del consumidor debida

a la desviación que les priva de la utilización del ferrocarril como consecuencia de la decisión de abandono supera al beneficio neto experimentado por el ferrocarril a cuenta de dicho abandono.

No hemos discutido el caso de la complementariedad entre un proyecto de carretera y un ferrocarril ya en funcionamiento a causa de su relativa poca importancia en el mundo moderno. En la mayor parte de los países las instalaciones del ferrocarril datan de hace muchas décadas y las redes de carretera proporcionaron adecuados accesos a las terminales del ferrocarril. Así, en tanto que en principio la mejora de las carreteras de acceso al ferrocarril podría estimular el uso de éste, produciendo un probable beneficio externo para el proyecto de carretera, en la práctica el número de tales casos y la magnitud de sus efectos es probable que sean muy pequeños. En consecuencia, no entramos en un detallado análisis de tales casos aquí; puede deducirse su adecuado tratamiento del descrito en el texto para los proyectos de carreteras que son competitivos con el ferrocarril, reconociendo que los aumentos de tráfico por ferrocarril, cuando los precios de los billetes y las tarifas de mercancías superen los costes marginales del transporte más significativos, traerán como consecuencia una serie de beneficios externos netos para un proyecto complementario de carretera.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**"PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS"**

**MODULO VI PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**GUIA DE COSTOS PARA AGUAS MUNICIPALES**

**Lic. Roberto Cortegoso**

**Palacio de Minería**

**1995**

## Abstract

A rate structure for water supply and waste treatment should recover all costs and result in efficient use of water by the final consumer. The water utility should recover both fixed and variable costs, as well as the costs of future expansion. Efficient use of water means that water is supplied up to a point where its value to consumers is greater than or equal to the cost of supplying it. A two-part tariff that includes a volume based price and a fixed connection charge can meet both the cost recovery and efficiency objectives. The volumetric portion of the tariff should be set equal to the marginal cost of water. In off-peak periods, the marginal cost is equal to the marginal operating cost, which only includes variable costs. In peak periods, the marginal cost includes both the marginal operating cost and the marginal capacity cost, where marginal capacity cost is the increase in future expansion costs resulting from a marginal increase or decrease in consumption. The fixed connection charge recovers any additional costs not met by the volumetric price.

The first step in the analysis develops a total cost curve based on the utility's operating budget and current expansion plans. The total cost curve shows the relationship between water supply and total costs to the utility. The second step derives the marginal cost curve from the slope of the total cost curve. The third step estimates the aggregate demand curve for water based on information supplied in this report. The analyst then determines the correct estimate of marginal cost for water from the intersection of the demand curve for water with the marginal cost curve.

## Résumé

Une structure tarifaire pour l'alimentation en eau et le traitement des eaux usées permettrait de recouvrer tous les coûts et aurait pour résultat l'utilisation économique de l'eau par le consommateur ultime. Le service public de distribution de l'eau devrait recouvrer les coûts fixes et variables de même que ceux entraînés par une extension future. L'eau est utilisée de façon économique lorsque sa valeur pour le consommateur est égale ou supérieure à ce qu'il en coûte pour la fournir. Un tarif binôme, comprenant un prix selon la quantité et des frais fixes de branchement, permet d'atteindre les objectifs de recouvrement et d'économie. L'élément tarifaire pour la quantité devrait être égal au coût marginal de l'eau. En période de consommation normale, le coût marginal est égal au coût marginal de fonctionnement, qui ne comprend que les coûts variables. Pendant les périodes de pointe, le coût marginal comprend à la fois le coût marginal de fonctionnement et le coût marginal de capacité maximale, ce dernier étant l'accroissement des coûts d'une extension future résultant d'une augmentation ou d'une diminution de la consommation. Les frais fixes de branchement permettent de recouvrer les coûts additionnels pour lesquels l'élément tarifaire se rapportant à la quantité ne suffit pas.

Dans la première étape de l'analyse, on trace une courbe des coûts totaux en fonction du budget de fonctionnement et des plans d'extension du service de distribution. Cette courbe montre le rapport entre la quantité d'eau fournie et les coûts totaux pour le service en question. À la deuxième étape, la courbe des coûts marginaux est établie d'après la pente de la courbe des coûts totaux. La troisième étape consiste à tracer la courbe de la demande totale d'eau d'après les données fournies par ce rapport. Enfin, le point d'intersection de la courbe de demande d'eau et de la courbe des coûts marginaux donne la valeur du coût marginal de l'eau.



## CHAPTER 1

# Introduction

Water rates, sometimes referred to as user charges, form a major source of revenue for municipal water utilities. The Federation of Canadian Municipalities (FCM), for instance, showed that 63% of total water utility revenue derived from rates charged to consumers. General taxes accounted for an additional 27% of revenue, the remaining sources being the senior levels of government and debt.

In addition to being a revenue source, water rates influence usage through both their structure and their level (Environment Canada 1989). Many Canadian municipalities charge a flat rate that provides no incentive for rational water use. Under this rate structure, the consumer is afforded unlimited access to the public water system in exchange for a fixed periodic payment. Other municipalities use a declining block rate structure that rewards high volume users. Both of these rate structures (flat rate and declining block) discourage conservation of water, increase capacity requirements, and result in economically inefficient use of water. With respect to the level of water rates, many studies have documented evidence that rate of payment affects the volume of water used. Low water charges in many areas of the country result in overuse of water and in revenue shortfalls for utilities. In summary, water rates affect both the revenue raising capability and the overall size of municipal utilities.

The FCM (1985) also documented an approximate \$6 billion shortage of funds in Canadian municipalities for water system repair and upgrading. This estimate was later raised to \$7.5 billion to allow for inflation and changes to the tax system. The FCM called for a tripartite sharing of these costs among the three levels of government. Concurrently, the federal govern-

ment was developing the Federal Water Policy (Environment Canada 1987), which called for realistic water pricing<sup>1</sup> as a central measure to encourage both water conservation and the user-pay philosophy of valuing water resources. Working from the water policy, the federal government suggested that the best way of raising funds for infrastructure-related purposes was through a restructuring and raising of municipal water rates. This study is intended as a resource for use by water utilities that are restructuring water rates to achieve economic efficiency and full cost recovery.

The study examines the issues involved in establishing effective municipal rates for water supply. Specifically, the study has three purposes:

1. to outline the theory of marginal cost pricing of water,
2. to translate this theory into a practical approach to rate making in Canadian municipalities, and
3. to provide examples of applying this methodology.

The report concerns only municipalities with centralized water supply systems. It does not consider situations in which small municipalities may have individualized groundwater sources of supply. It deals with industry only insofar as industrial operations draw upon municipal systems for all or part of their water servicing. Finally, as federal researchers, we are

<sup>1</sup> Defined here as pricing water in such a way that the full costs of both intake and discharge treatment and delivery are borne by users of the service.

very much aware of the jurisdictional issues regarding municipal water management. Accordingly, this study should be viewed in the research context rather than as a precursor to any attempt to establish guidelines in a legal sense.

Chapter 2 examines the issue of water metering, viewed here as a necessary first step toward realistic water pricing. Chapter 3

provides a synopsis of the theory of efficient pricing. Chapter 4 focuses on the costs of operating a municipal water utility and the subsequent revenue requirements. Chapter 5 then examines the issues of rate schedule design and development. Here, the theoretical principles of rate making are combined with the material on cost and revenue requirements developed in Chapter 3. The final chapter provides examples of rate making based on the methodology advocated.

## CHAPTER 2

# The Importance of Metering

The water pricing method put forth in this paper relies upon measuring the volume of water used by individual customers of the water utility. For this reason, the installation of meters for all customers constitutes the first step toward realistic pricing. Without this first step, realistic pricing of water services will not be possible.

Because the topic of water metering is so important to the issue of water pricing, this chapter deals with the subject in detail. Decisions about metering have proven controversial in many Canadian municipalities, and, we suspect, still are. This chapter examines the controversial issues in order to provide decision-makers with adequate information and background. It first outlines the state of water metering in Canada and then discusses the benefits and costs of water metering. The final section concerns an outline of the effects of metering on water use. A recently completed study dealing with the metering issue in Canada (Canadian Water and Wastewater Association (CWWA) 1989) is referred to throughout the chapter.

### THE STATE OF WATER METERING IN CANADA <sup>1</sup>

Across Canada, approximately 50% of the connections to water utilities are metered. Of the municipalities with a population of over 1000, 27% are fully metered, 21% are partially metered, and 52% are not metered at all. The nonmetered population tends to be concentrated in the smaller municipalities (with an average

population of 20 000 versus one of 34 000 in metered municipalities), although substantial portions of some of the largest cities (e.g., Calgary, Toronto, and Vancouver) are also unmetered. In the partially metered municipalities, 72% of industrial services, 67% of commercial/institutional services, and only 31% of residential services are metered.

Water use volumes vary substantially between metered and nonmetered areas. Water pumpage in the former varies between 0.5 and 0.7 cubic metres (m<sup>3</sup>) per day; in the latter it is 1 m<sup>3</sup> per day or more. This reflects a common research finding that water use declines, often by as much as 30%, following the installation of water meters and the implementation of volume based pricing.

In geographical terms, the Prairie provinces lead in the use of meters by a wide margin. Over 70% of Prairie municipalities are fully metered, and only 12% are not metered at all. In contrast, fewer than 18% of municipalities in British Columbia, Quebec, New Brunswick, and Newfoundland have full water metering. The remaining provinces vary between 25% and 50% in their use of municipal water metering.

The Canadian experience with water metering suggests that there is still a long way to go before municipalities are "universally metered." Universal metering will cost a total of \$700 million for equipment and installation across Canada (Tate 1989, p. 15). As noted, in many areas metering has generated controversy, and certainly expenditures on this magnitude require examination of their benefits and costs.

<sup>1</sup> Data in this section are from CWWA (1989), Chapter 2.

## THE BENEFITS AND COSTS OF WATER METERING<sup>2</sup>

Several economic principles underlie the evaluation process for the metering decision. This section outlines these principles, starting with a definition of benefits and costs, followed by a discussion of how they can be measured.

### Defining Benefits and Costs

A fundamental, but frequently misunderstood, step in conducting benefit-cost analyses concerns the precise determination of which factors constitute a true economic cost or benefit. In general, benefits and costs are those impacts that represent a gain or loss in real resources, as opposed to impacts that represent a transfer of income from one group in society to another.

For example, higher water rates transfer income from consumers to the owner of the water system, usually a public utility. Nothing of value is lost from the municipality's collective pool of income (i.e., the combined wealth of all municipal residents — consumers and producers). Hence, the increase in consumer costs does not constitute an economic cost. Although the reduced water use resulting from higher water prices does represent a real cost to residents, since consumers are led to lose something they value, such as green lawns or cleaner cars, the extra revenue earned by the municipality from higher water rates is not an economic benefit, since nothing of value has been gained by the municipality overall. But the reduced capital and operating costs do indeed constitute a real economic benefit, since the municipality (i.e., society) can use the otherwise dedicated resources for other more highly valued investments.

### Benefits of Water Metering

Without water meters, consumers pay the same amount for water services no matter how much water they use. Upon the introduction of meters, consumers pay in proportion to their

<sup>2</sup> This section draws heavily upon, and sometimes repeats, the CWWA study referred to earlier (CWWA 1989, pp. 3-2 to 3-7). This study was funded by the Inland Waters Directorate, Environment Canada, to support the water pricing strategy of the Federal Water Policy.

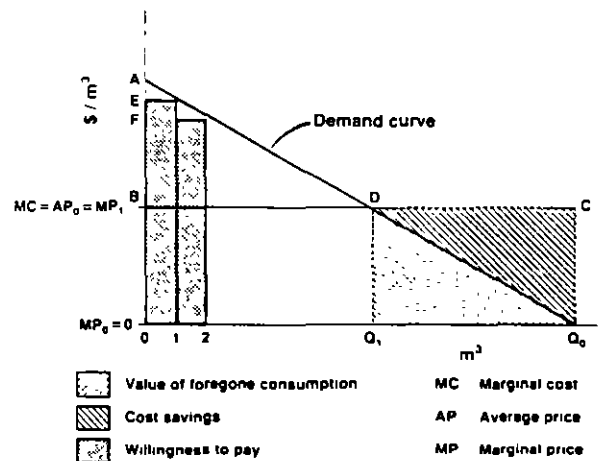


Figure 1. Benefits and costs of water metering.

water usage, and demand falls accordingly. As a result, benefits accrue to the municipality in the form of smaller water and wastewater capital requirements and lower system operating costs. Figure 1 will assist in examining these economic benefits.

The demand curve for water services,  $AQ_0$ , slopes downward to the right, indicating that as the price of water services rises, demand for those services falls. The municipality, prior to metering, charges its customers on a constant, or flat rate, basis. Since there is no extra expense for using an additional unit of water, the "marginal price" of water is said to be zero. At the point where the marginal price of service is zero (i.e.,  $MP_0$ ), demand equals  $Q_0$ . Upon introduction of meters, however, the marginal price of water exceeds zero, since customers must pay extra for additional units of water used.

Determining the savings (i.e., benefits) that occur to the municipality as a result of metering depends on estimating the change in water use upon installation and the costs associated with satisfying different demand levels. The first step is to determine the marginal cost of service, which is the additional cost incurred in supplying an extra cubic metre of water to consumers.<sup>3</sup> As shown in Chapter 4, the price of water should equal its marginal cost, under the pricing

<sup>3</sup> Calculation of marginal costs of water supply is central to Chapters 4 and 5, and will be discussed extensively there. Essentially, marginal costs are those that vary with demand. These may include both operating and capacity costs.

system recommended in this paper. Accordingly, in Figure 1, the new price ( $\$/m^3$ ) equals the marginal cost of producing the extra unit of water. Multiplying the change in demand resulting from metering ( $Q_0 - Q_1$ ) by the marginal cost of service provides an estimate of the total cost savings attributable to metering. Rectangle  $Q_1Q_0CD$  in Figure 1 represents these savings.

This discussion excludes the potential reduction in capital and operating and maintenance (O&M) expenses associated with wastewater collection, treatment, and disposal. Though not included in Figure 1, these benefits should be estimated in the same manner as outlined here. In some cases the benefits of reduced wastewater capital and O&M expenses may outweigh the cost savings from reduced water supply.

### Costs of Water Metering

The purchase and installation of meters make up the most obvious costs of the metering decision; these costs are relatively easy to compute. The costs of ongoing meter maintenance and possibly higher billing expenses must also be considered.

The value of foregone water consumption under a non-zero pricing scheme imposes an additional, but more obscure, cost. Area  $Q_1Q_0D$  represents this cost. Intuitively, this cost relates to the expense borne by consumers of maintaining dirtier cars, browner lawns, and the like, because of their reduced water consumption. To conceptualize this in terms of the diagram, one must apply what economists call the "willingness to pay" concept.

In economic analysis, the demand curve (such as  $AQ_0$ ) represents the relationship between price and the quantity demanded. In the demand curve of Figure 1, consumers are willing to pay a price equal to  $OE$  for the first cubic metre of water,  $OF$  for the second, and so on. Without meters, since consumers demand a quantity of water equal to  $Q_0$ , their marginal willingness to pay for an extra unit of water is zero.

Upon introducing meters, water use falls to  $Q_1$ . At this level of usage, consumers are willing to pay  $\$/B$  for an additional cubic metre of water (i.e., the price established per cubic metre). To

approximate the average value consumers give to water use in the range  $Q_0$  to  $Q_1$ , the midpoint between  $\$/0$  and  $\$/B$  per cubic metre can be chosen. The value of foregone water use for consumers equals this average value times the change in demand due to metering (represented by  $Q_1Q_0D$  in Fig. 1). This value, which represents the cost of foregone water use, is then added to the purchase, installation, and operation cost of the meters to derive a total cost of the metering decision.

### Net Benefits of Water Metering over Time

The costs, and more especially the benefits, of water metering extend over time, and analysis requires that the temporal dimension be taken into account in assessing the overall net benefits of metering. Since the benefits and costs do not occur uniformly through time, adjustments are required to make them comparable.

Comparability requires converting dollar estimates of future impacts into equivalent current values (Fig. 2). From today's viewpoint, future receipts (benefits) and payments (costs) are worth less than the same amounts due or payable today.

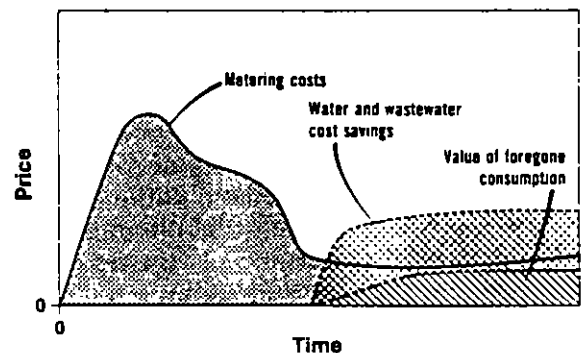


Figure 2. Time profile of water metering: benefits and costs.

For example, at a 10% interest rate, \$2 seven years in the future is worth only \$1 today, simply because a dollar invested at a 10% rate will double in value in seven years. Discounting techniques translate future receipts and payments

into amounts that if set aside now at expected long-term interest rates, would accumulate to the future amounts. These techniques allow all benefits and costs to be considered in terms of current opportunities. In other words, discounted present values reflect current opportunities foregone in undertaking to pay future costs (e.g., metering now will have benefits in the future).

The analyst is now in a position to assess whether metering is justifiable in economic terms. To do this, the present value of the costs (i.e., after discounting) are subtracted from the present value of the benefits to give the net present value (NPV) of the investment. A positive NPV means that the metering decision is economically justified; a negative NPV implies the opposite. In the latter case, the investment would not be efficient. Alternatively, the analyst can produce a benefit-cost ratio by dividing the discounted stream of benefits by the discounted stream of costs. A ratio greater than one implies economic efficiency. As outlined earlier, the CWWA has produced a computer based benefit-cost model of the metering decision, which is available to Canadian municipalities.

### Selected Empirical Studies

Many municipalities throughout the world have examined the issue of water metering, with the result that a wide range of studies is available. Both methodological and local differences mean that many studies are not perfectly comparable. They do, however, provide a general impression of the economic benefits and costs of metering. The studies, carried out under a wide range of conditions, provide both favourable and unfavourable conclusions as to the net economic benefits of meter installation.

Brooks and Peters (1988) looked at the benefits and costs of water metering as part of their Science Council review of water demand management. They conducted no primary study but offered instead an overview of previous work by others. They stress that positive NPV may depend on the water price faced by consumers after metering as well as on the cost of purchasing and installation. They found that meters were

cost effective if water cost more than 21 cents per m<sup>3</sup> and the meter could be installed for

under \$500. A 1986 report from New York State states that meters will be cost effective at anything under \$650 per meter. The same report said that a meter (device and installation) costs \$400 at a residence and \$2000 at a large apartment house. A 1984 California report states that the cost of providing metered water to a house at the time of construction was only \$80.

—Brooks and Peters 1988, p. 20.

Grima (1972) reported the results of a benefit-cost simulation of the metering decision in the Borough of Etobicoke, Metropolitan Toronto. Based on the data presented in the report, the benefit-cost ratio of 1.1 indicated that the decision to meter was economically efficient. However, this finding depended on the decline in water use following metering and the financing conditions under which equipment was purchased and installed. Associated Water Services Ltd. (1980) conducted a benefit-cost study of metering for Alberta Environment. The study examined metering installation in communities with fully centralized water acquisition, treatment, and distribution systems. Benefits and costs on a per capita basis totalled \$40.47 and \$11.00 respectively, giving a positive NPV of \$29.47, indicating that the metering decision was economically efficient.

Hanke (1980) reported the results of a study of water use restrictions (including metering) in Perth, Australia, using a monthly basis benefit calculation instead of the annual period normally used. The study concluded that restriction would have been economic in every month and that the total net benefits would have equalled \$504 942. In an unpublished paper on the same municipality, Hanke reported a benefit-cost ratio of 1.62, again indicating economic efficiency.

The municipality of Peterborough, Ontario (PWD 1984), conducted an analysis of the decision to meter. The analysis emphasized the benefits of decreased water use but also evaluated the effects of metering on delaying requirements for system expansion. It found that metering would probably lead to a 10% decline in water use, but that the resultant savings, even

combined with those due to delayed capacity expansion, would not justify the costs of water metering.

### METERING EFFECTS ON MUNICIPAL WATER USE

Many studies have documented the decline in water use with the introduction of water metering. This decline is in part psychological as consumers realize that they can control the size of their water bills through their own actions. But the fall is also an economic response, as consumers optimize their own water consumption based on volume based water rates that are introduced when meters are installed.

The usual pattern is for water use to fall quite substantially immediately following meter installation. Water use then "rebounds" as consumers become familiar with the new pricing regime. Past studies follow different methodologies and measurement techniques, depending upon their purposes. Some have the water use reactions to price and metering as their primary focus; others include these measures incidentally in fulfilling other purposes. For these reasons, it is difficult to draw precise conclusions about the magnitude of the post-metering decline in water use.

Table 1 comprises a sampling of literature pertinent to the effects of metering of water use.

Table 1  
Effects of Metering on Water Use

Area	Impact and special details	Source
Western U.S.	Unmetered areas have over 50% higher water use than metered ones on average; over 100% for maximum day and maximum hour	Linaweaver, Geyer, and Wolff (1967)
Etobicoke, Ont.	Unmetered areas have 45% higher water use than metered areas of comparable assessment	Grina (1972, p. 165)
St. Catharines, Ont.	11% drop immediately following metering but use rebounded because prices were low. Two years later, water usage higher than before metering	Pitblado (1967, p. 46)
Boulder, Colo.	34-37% drop in water use following meter installation	Hanke and Flack (1968)
Alberta	10-25% drop in water use following meter installation	Associated Services Ltd. (1984)
Peterborough, Ont.	10% reduction in water use predicted following meter installation	Peterborough Water Department (1984)
California, Central Valley	Household water use reduced up to 55% following meter installation; usage averaged 30% less in metered than in unmetered cities	Minton, Murdock, and William (1979)
Denver, Colo.	Metered customers use 50% of the volume of unmetered customers	Griffith (1982)
Calgary, Alta.	Unmetered water use 46% greater than use in metered residences	Mitchell (1984)
Calgary, Alta.	Unmetered water use 65% greater than use in metered residences	Shipman (1978)
Dallas, Texas	43% drop in water demand following meter installation	Shipman (1978)
Gothenberg, Sweden	Per capita use in unmetered apartments 50% higher than in metered single family residences	Shipman (1978)
York County, Pa.	Substantial increases in industrial waste treatment charges led to reductions in water use in the 30-50% range	Sharpe (1980)

Although by no means exhaustive, it is nevertheless representative. Important qualifications are noted in the table and where necessary are discussed in the text below.

The effects of metering on water use varies according to the type of use. For example, the study by Linaweaver, Geyer, and Wolff (1967) showed that the "domestic" or in-house use showed little variation between metered and flat rate areas. In contrast, lawn sprinkling uses in metered areas were 50% to 75% lower than those in unmetered ones. Because of the latter fact, overall residential usage was about 50% lower in metered than in unmetered areas. As Grima (1971, p. 50) stated,

Sprinkling and related uses affect the maximum day and peak hour use to a much greater extent than domestic use and the peak uses are most relevant to design and planning. Therefore metering may reduce the need for storage capacity installed to meet peak demands.

The finding is important for reforming existing water pricing practices, and is one of the rationales for the pricing method outlined in Chapter 5.

As noted above, metering often causes an initial substantial drop in water use, followed by a rebound to a less substantial long-term drop. In some cases, the post-metering water use may actually be higher than pre-metering use. Pitblado (1967) found this result for St. Catharines,

Ontario, and explained it by pointing out that water prices were kept low, removing any incentive for decreasing water use. This shows that metering will not be particularly effective as a water saving measure unless it is accompanied by pricing reform.

In general, metering has a variable effect on lowering water usage, depending highly upon the post-metering water pricing regimes initiated by municipalities. The literature cited in Table 1 indicates that metering, combined with water charges based on usage, may lead to a 30% to 50% drop in demand. As Grima (1972, p. 53) stated,

Unmetered consumers have no incentive to use water efficiently or to repair indoor water using fixtures. Total residential water use is about 30-50% higher in flat rate areas, with most of the extra demand occurring during seasonal peaks for lawn watering.

## SUMMARY

Metering is the sine qua non of realistic water pricing. Currently, only about 50% of urban water consumers are metered. Utilities can conduct evaluations of metering in the benefit-cost context, and most such studies in the past have found metering to be cost effective. Metering, combined with realistic pricing designed to recover the full costs of system operation, can result in a 30% to 50% fall in water demand, and obviate the need of system capacity expansion.



## CHAPTER 3

# Economic Theory of Water Pricing

### INTRODUCTION

This chapter examines the basic principles of municipal water pricing. It begins by defining two basic goals of water pricing policy: economic efficiency and cost recovery. It then outlines a theoretical model for achieving these goals.

The theoretical model of economic efficiency is based on the criterion of maximizing net value or benefits to society from water use. A review of the theory shows that marginal cost pricing of water will lead to economic efficiency in its use. Subsequent sections of this chapter discuss marginal cost pricing in more detail, using a graphical representation of the consumer demand and marginal cost curves.

The final section of this chapter outlines the problem of achieving full cost recovery under marginal cost pricing. Economic theory suggests that a system of fixed connection charges plus a volumetric price based on marginal cost should achieve both economic efficiency and full recovery of costs.

### GOALS OF A PRICING POLICY

As outlined in Chapter 1, municipal water rate making can meet both economic efficiency and cost recovery goals. Both goals are important: the former helps control the growth of water demands and assure rational water use, and the latter ensures that a utility has sufficient capital and operating revenues. Formally, a realistic municipal water pricing policy should have two goals: (1) economic efficiency and (2) full cost recovery. The following sections explain these terms in more detail.

### ECONOMIC EFFICIENCY

A pricing system is economically efficient if it results in maximum net value of water use to society. The net value of water supplied through a municipal system equals the value customers receive from water use minus the cost of the supply system. The following sections discuss the theory on which the value and cost of water is based.

#### Economic Value of Water

The demand curve (Fig. 3) is the basis for determining the economic value of water. The demand curve shows the relationship between the quantity demanded of a product and its price. At any level of consumption, the demand curve represents consumers' willingness to pay

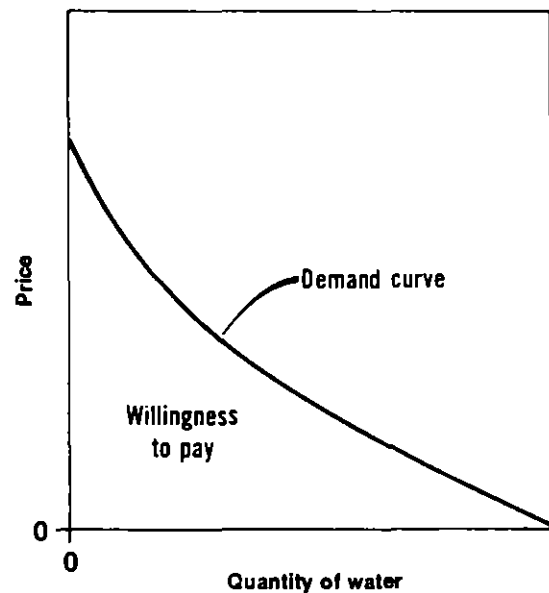


Figure 3. Demand for water.

for an additional unit of water. The value of an extra unit of water declines as consumption increases resulting in a downward sloping demand curve. An aggregate demand curve for a group of consumers can be obtained simply by adding up all the individual demands at various price levels. The aggregate demand curve will also be downward sloping.

The consumers' total willingness to pay is the area under the demand curve in Figure 3. Total willingness to pay can be considered as a gross measure of the value of water to the consumers. The net value of water is the difference between the value to consumers and the cost of supplying it.

The costs of supplying water are represented by the total cost curve (Fig. 4), which shows the total costs required for any level of water delivery. The marginal cost curve (Fig. 5) is derived from the slope of the total cost curve. For any level of water delivery, marginal cost is equal to the slope of the total cost curve in Figure 4. The marginal cost is the cost of producing an additional unit of water at each level of water supply.

Ignoring fixed costs for the moment, total costs are equal to the area under the marginal

cost curve (Fig. 5). The net value of this water is shown by the area NV, which is the difference between total consumer value and total costs. Rate setters should select the price and quantity of water delivery that will result in the maximum net value from water use. In other words, a price and quantity in Figure 5 should be selected that maximizes the area NV. Fixed costs can be deducted from the area NV to give the true net value after fixed costs, but this will have no effect on the optimal price and quantity.

### Marginal Cost Pricing

The economically efficient price results in maximum net value from water use. This price turns out to be the point where the demand curve intersects the marginal cost curve ( $P^*Q^*$  in Fig. 5). At this point the consumers' marginal willingness to pay is equal to the marginal cost. If consumption were set lower than the optimal point, then the marginal cost of an additional unit of water would be less than the marginal value consumers put on it. Therefore, increased net value could be obtained by increasing consumption and lowering the price. If rate setters set a price below the optimal point, consumption would rise to a point where additional units of water would cost more than they are valued by consumers. It follows that setting the price

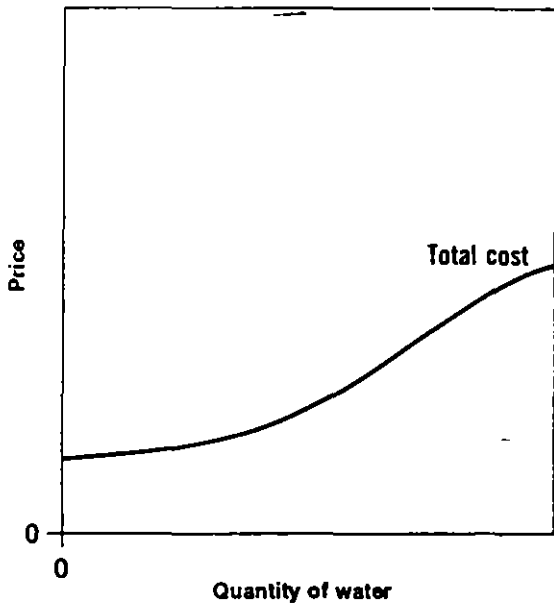


Figure 4. Total cost curve.

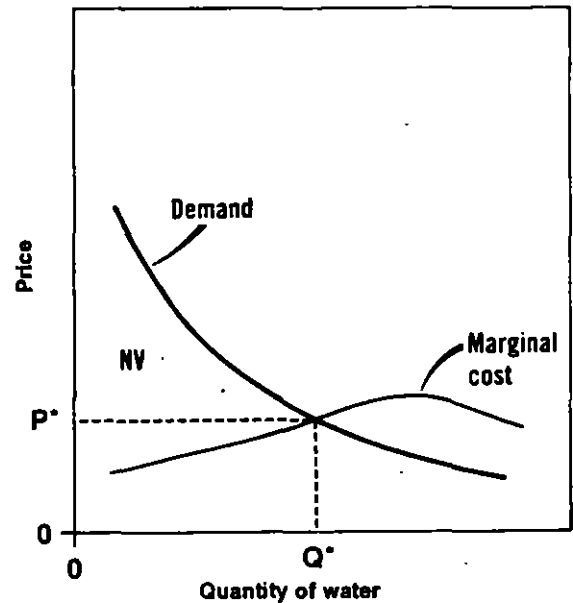


Figure 5. Marginal cost pricing.

exactly equal to marginal cost will result in the maximum net value. The term "marginal cost pricing" means just that: setting price equal to marginal cost in order to maximize benefits.

The marginal pricing rule can be stated formally as

$$\text{Price} = \text{marginal cost} = \text{marginal willingness to pay} \quad (1)$$

### Short-Run and Long-Run Marginal Cost

The marginal cost pricing rule has both short-run and long-run interpretations. In the short run, capital costs cannot be varied and marginal costs include only the variable costs of production or delivery. As long as there is adequate physical capacity for the foreseeable future, setting the price equal to marginal cost will maximize benefits. In the long run, utilities must plan for capital expansion, and all inputs, including capital, are variable. The long-run marginal cost represents the marginal cost of capacity expansion over the long term. A permanent increase or decrease from current consumption levels will affect the timing of future expansion requirements. A reduction in consumption will delay the need for expansion, and an increase will advance capacity expansion requirements. The financial costs or savings associated with changing the timing of expansion can be amortized and used as the basis for the long-run marginal cost curve.

During peak demand periods the long-run marginal cost becomes the basis for setting the price. Specifically, the peak period price should be set at the intersection of the peak period demand curve and the long-run marginal cost (Fig. 6). This price applies to the peak period only, since it is the peak demands that place a strain on capacity over time. The increase in peak demands over time result in the need for increased capacity and so any long-term change in peak period demands will have an effect on future expansion costs.

During off-peak periods, rate setters should use the short-run marginal cost as the basis for price setting. A change in off-peak demands will not usually affect the long-term capacity requirements and expansion costs. The only costs associated with a change in off-peak demands

will be operating costs such as pumping costs or repairs. Therefore, the price should be set at the intersection of the off-peak demand and short-run marginal cost curves (Fig. 6).

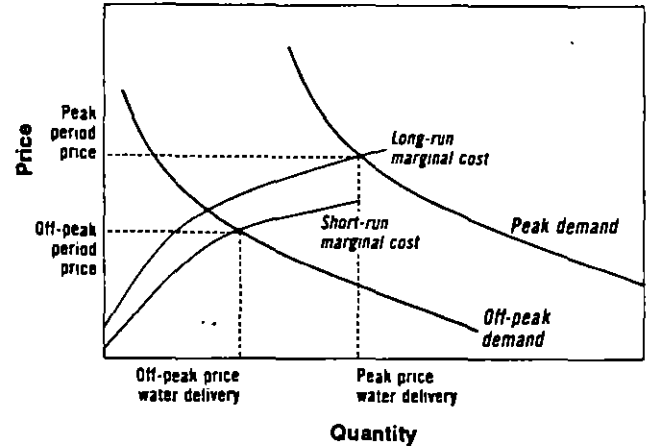


Figure 6. Prices in peak and off-peak periods.

### Marginal Waste Treatment Charge

The costs of wastewater treatment are related to the amount of water that is supplied to households. Increasing or decreasing the amount of water going into households will similarly increase or decrease the amount of wastewater exiting from households. In theory, the marginal cost of treatment associated with the change in water consumption should be factored into the price of water. In practice, rate setters may encounter some difficulty in determining the effects of a change in water consumption on costs of treating wastewater. The analyst also encounters the problem of separating out water consumption that does not enter the wastewater treatment system. These problems are discussed in more detail below.

### Cost Effects from Reduced Volume of Wastewater

If household demand for water is reduced because of a price increase, then the total volume of wastewater will also be reduced. However, the concentration of wastes in the wastewater will likely be higher since the same amount of raw waste will enter the system. Factors such as water-efficient appliances, improved plumbing maintenance, and in-house conservation will

account for much of the reduction in water entering the waste treatment system. These factors will not, however, result in a significant reduction in the amount of human and household waste that enters the system.

The reduction in the volume of wastewater should result in cost savings despite the increased concentration of wastes. In the short term, reductions in costs would occur in the form of reduced energy and maintenance costs for pumping, mixing, and aeration. In the long term, savings would occur in the form of reduced volume-related capacity for collection, holding, and treatment. The effect on some of the other cost components of waste treatment is uncertain. For example, the costs of biological and chemical processes may or may not be influenced by a reduction in volume accompanied by an increase in concentration. Since the total amount of solid waste is not likely to change significantly, sludge treatment and disposal costs would probably remain unchanged. Thus, the total savings depend on the technical design of the wastewater system and the relative costs of volume-related functions such as collection, pumping, mixing, and aeration. Chapter 4 gives some procedures for approximating the marginal waste treatment savings associated with reduced consumption of water.

The volume of wastewater treated does not generally exhibit seasonal peaks, and so, in theory, only a single annual marginal cost, including both capacity and operating costs, should be implemented.

#### Wastewater That Does Not Enter Treatment System

Some water does not return to the waste treatment system. Outdoor water use, particularly lawn and garden watering, will not usually put any demands on the waste treatment system since any runoff from such activities will enter storm drains or natural waterways. Therefore, the marginal waste treatment cost of this type of water use is zero and no sewage cost should be levied. Unfortunately, utilities cannot distinguish between indoor and outdoor water use since meters only indicate gross water use per connection. Most outdoor water use is seasonal and is usually the cause of seasonal peak demands. During off-peak periods utilities can apply a marginal waste treatment fee with the

assumption that practically all of the water used is for indoor activities that contribute to wastewater volume.

The more difficult question is whether or not to apply a waste treatment charge during the peak periods when a significant portion of water use is for outdoor activities. If the waste treatment charge is applied in peak periods, then outdoor water use will be overpriced. If the waste treatment charge is not applied in peak periods, indoor water use will be underpriced. In either case a price distortion will occur.

In general, it is recommended that the marginal waste treatment charge be applied year round, including peak periods. Although this results in a theoretical overcharge for outdoor water use, there are some practical arguments that could be used in favour of higher outdoor water charges. In the first place, water that is used for outdoor water purposes exhibits a higher rate of actual consumption than water used indoors. In fact, if homeowners are efficient in their lawn watering practices, then all of the applied water will be lost through evapotranspiration, and there will be no return flow to surface water or groundwater aquifers. Thus, outdoor water use has a greater impact on net flows or stocks of water than does indoor water use. Even if some return flows from outdoor water use do occur, these flows will contain leached nutrients or urban contaminants that are harmful to the receiving waters.

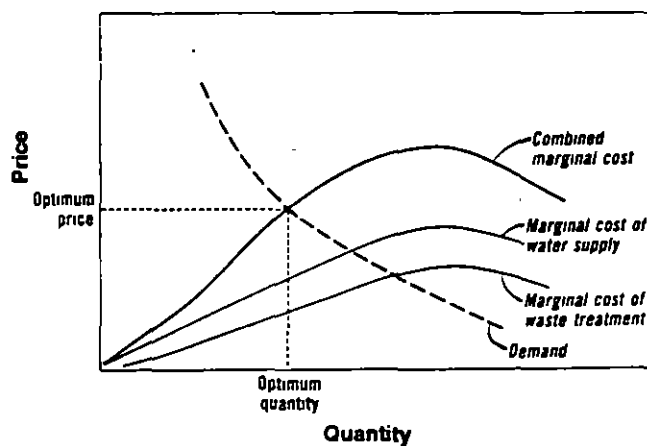


Figure 7. Marginal costs and optimum price.

In theory, a marginal cost curve of post-use treatment for municipal water supply can be displayed, as in Figure 7. By adding this curve to the marginal operating cost curve for water supply in each period, a combined marginal cost curve is obtained. The intersection of the total marginal cost curve with the demand curve defines the optimum price in each period.

### FULL COST RECOVERY

A pricing system achieves full cost recovery when it generates sufficient revenue to cover the full cost of the system at any level of water delivery. The accounting of system costs should include fixed costs, variable costs, and a provision for future expansion. If these costs are fully recovered, utilities will require no subsidies from senior levels of government to maintain, upgrade, or expand their water systems.

The marginal cost pricing rule, as presented in equation (1), is concerned only with efficiency and does not consider any financial constraints on the utility. Financial constraints would usually require the utility to break even by recovering all costs without making excess profits. Setting the price at the marginal cost price may result in a financial loss for the utility even though the net value of water use is maximized. The loss will result from the fixed (overhead) costs facing the utility. This situation occurs when average costs are below marginal costs at the optimum price (Fig. 8). The lower section of Figure 8 shows the equivalent total cost curve and total revenue curve. The vertical distance from C to R represents the total revenue shortfall at the optimum price  $P_0$ .

In order to recover any revenue shortfall, utilities should put a fixed connection charge on each customer in addition to the volume based price as determined by the marginal cost. The connection charge is fixed in that it does not vary with the amount of water used. Because it does not vary, it will not affect the demand by each customer, and consumption will remain at the optimum level where the marginal willingness to pay equals marginal cost.

The fixed connection charges may account for a significant portion of the total water bill faced by consumers. Thus the comparative size

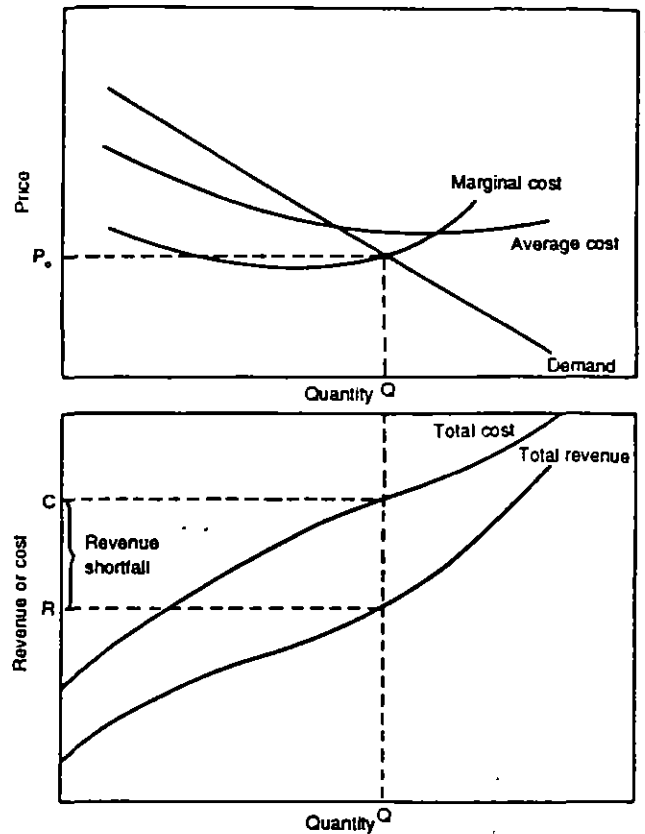


Figure 8. Revenue shortfall with declining average costs.

of the connection charge between consumers is an important issue when attempting to design a fair rate structure. The simplest way to obtain the connection charge is to divide the total revenue shortfall by the number of connections. This would result in a lower average price for large volume users although the marginal price would remain the same for all customers. Utilities may consider the lower average price as fair because of cost advantages in supplying large-volume consumers (see next section).

An alternative method for calculating connection charges is to divide customers into different classes based on volume of water use and then calculate a fixed connection charge for each class. Under this system, the revenue shortfall is allocated on a percentage basis between classes of consumers. Rate setters can use this system to achieve a fair distribution of costs based on the utility's particular mix of customers.

Chapters 5 and 6 give further discussion of using the connection charge as a means of allocating fixed costs. Achieving a fair distribution of fixed costs is often subjective (see next section) and is not the main focus of this report. A more in-depth discussion of cost allocation between customers is available in the American Water Works Association (AWWA) Water Rates Manual (1983).

### **EQUITY AND FAIRNESS OF MARGINAL COST PRICING**

In the past, many rate-setting procedures have been concerned with fair allocation of fixed costs, in contrast to the marginal cost based rate structure described in this report. It is the authors' opinion that marginal cost pricing combined with fixed connection charges is both an efficient and a fair system. Other rate-setting systems have often resulted in flat rate pricing or declining block systems, which are inefficient and unfair to low volume customers.

Under flat rate systems, customers have no opportunity to reduce the cost of their water through their own conservation efforts. Heavy users of water pay the same total bill as light users. Customers who make an effort to conserve water, or who live in smaller homes, end up paying a higher per unit cost of water. A volume based pricing system is much more equitable, since those who use the most water must pay for it. Customers who consume less through their own conservation efforts, or who have more modest water demands, will pay less than those who consume more.

Under declining block rate systems, high volume users pay a lower marginal price than do low volume users. This system is unfair for the same reason that flat charges are unfair; users are not fully rewarded for their conservation efforts. Furthermore, high volume users place the most demands on system capacity, which is often the major component of total cost.

Some utilities can supply high volume consumers at a lower average cost than small consumers and thus use a declining block rate system to lower the average price paid by large consumers. This practice is similar to the practice of giving high volume discounts in the

manufacturing and trade sectors because of economies of scale in manufacturing and distributing. A better approach for water utilities is to use the fixed connection charge rather than the volumetric price as a means of increasing or decreasing the average price to various classes of consumers. This method will result in both maximum efficiency and fairness to consumers.

Rate setters should be aware that cost advantages in having high volume consumers may not be as large as those found in the private manufacturing and trade sectors. Because water supply capacity is fixed in the form of reservoirs, pumps, and water mains, there is often little cost saving to the utility by supplying water to one large customer rather than to many small customers. There can be some cost savings in that only one large connection is needed for a big customer, but many small connections are required to serve small users. Even this type of saving may not be significant because the capital cost of connecting with a water system is often borne by the land developer and the householder rather than the utility. Some administrative savings will exist in the form of reduced time for meter reading and bill processing for large customers.

Rate setters who are interested in the issue of cost allocation between different classes of customers are referred to the AWWA water rates manual, which deals extensively with cost allocation. As marginal costs usually do not vary substantially between classes of customers, so the volumetric portion of the rate structure should not generally vary between customers. Only the fixed connection charge should be altered if rate setters wish to achieve different average prices among customer classes.

In general, marginal costs are the same for all classes of customers, and the analyst need not be concerned about the allocation of marginal costs between customer classes. This greatly simplifies the rate-setting process and at the same time treats all customers equally. There may be a few instances in which utilities can distinguish between customer classes that have significantly different marginal costs of water supply. For example, some neighbourhoods or regions may be located at significantly greater distances or elevations than other regions, resulting in higher energy costs for pumping. In theory, these neighbourhoods should be charged a

higher volumetric price, reflecting the higher marginal costs. However, differences in marginal costs related to pumping may often be very small relative to capacity and wastewater treatment costs, in which case it may be more practical to ignore them.

Some rate setters may wish to provide a break to low-income families by charging them a lower unit charge than other customers. This can be achieved by providing free delivery of a small amount of water to each household. This amount can be considered the subsistence level, necessary to meet basic indoor uses. The volumetric price would not be applied until consumption exceeded the subsistence level of water. A slight surcharge, over and above marginal cost, would have to be applied to the volumetric price to make up for the decreased revenue resulting from the free subsistence block of water. This method would result in a higher average price of water for large consumers than for small consumers. However, a loss in efficiency results from this system because consumers are not charged the exact marginal cost of water. The rate setter would have to decide if the loss in efficiency is worth the possible increase in consumer acceptance that may occur with this type of rate schedule.

## SUMMARY

The major point arising from the theory described in this chapter is that water should be priced at its marginal cost. In the peak period season, the price should include the marginal cost of future capacity requirements, while the off-peak price should be based on marginal operating costs. The marginal cost of wastewater treatment that is related to intake of water should be applied year round.

Revenue shortfalls from marginal cost pricing can be recovered through fixed connection charges to customers. The connection charges also provide a vehicle through which the utilities can increase or reduce the average price paid for water by different classes based on equity considerations.

The next chapter discusses the revenue requirements of water utilities in more detail. It develops the concept of the total cost curve from which utilities can determine total costs and revenue requirements for any level of water delivery and wastewater treatment. Subsequent chapters deal with the estimation of marginal costs and consumer demand required to determine optimal water prices.

---

## Economic Costs and Revenue Requirements

### INTRODUCTION

This chapter examines the costs and revenue requirements for water supply and waste treatment utilities, and outlines a process for estimating the relationship between total costs and the amount of water delivered. As discussed in the previous chapter, the amount of water supplied to customers affects both the costs of water supply and the costs of wastewater treatment since the volume of wastewater is closely correlated with the volume of indoor water use. Several cost components of waste treatment such as pumping, mixing, and aeration are directly dependent on the volume of wastewater treated. Capacity requirements for both waste treatment and water supply are also affected by the level of water consumption. Therefore, cost determination and pricing of water supply and wastewater should be considered as a single problem.

Graphically, the relationship between costs and the level of water supply is known as the annual total cost curve. For any level of water delivery, the total cost curve shows the corresponding costs faced by the utility. In this chapter, separate total cost curves are developed for the water supply and wastewater treatment functions. These cost curves are necessary to calculate revenue requirements when the quantity of water delivered changes due to the introduction of efficient pricing.

Total annual costs include future expansion costs, expressed as equivalent annual payments, fixed costs (including debt payment), and variable or operating costs. The sum of these costs represents the annual revenue requirement for a water utility.

The total cost curves provide an economic framework through which the effects of pricing

and demand reduction can be analyzed, but they do not replace standard accounting methods for cost reporting and analysis. Financial data from traditional accounting systems still form the empirical basis of this economic framework.

### CLASSIFICATION OF CURRENT COSTS

Given its present level of water delivery and wastewater treatment, a utility faces a set of current costs or cash outflows. Utilities will usually keep separate accounts of current costs for the water supply and waste treatment functions. While these accounts usually do not include a provision for future capacity expansion, the data presented in these accounts, when supplemented with cost data on projected capacity expansion, form the basis for estimation of the total cost curves.

Current costs or cash outflows are the annual payments required for such items as labour, materials, and debt servicing. The first step in developing an economic framework for revenue generation is to classify the utility's current costs of water delivery and wastewater treatment as either fixed or variable.

#### Fixed Costs

Fixed costs are those that do not vary in the short run with respect to the amount of water delivered or wastewater treated. For example, payments on current debt are fixed in the short run since they do not vary if the amount of water delivered varies during the year. Other fixed costs include administration, regularly scheduled maintenance, and replacement of equipment due to obsolescence. These items are fixed since a temporary reduction in the amount of water



CHAPTER 5

# Implementing Efficient Pricing

## INTRODUCTION

The material presented in this chapter shows in detail the steps required to calculate the components of the generic rate structure advocated in this paper. The calculations require a determination of both marginal cost and water demand curves. A graphical analysis of these curves then yields the optimal prices in peak and off-peak periods.

The same accounting data used in the previous chapter to estimate the total cost curves form the basis for estimation of the marginal cost curves. Estimation of demand curves for water is complex and may require substantial data. If these data are unavailable, the analyst can use the generalized demand curves presented in this chapter. These generalized demand curves are adaptable to the specific conditions of different utilities.

Once the analyst has estimated these functions, they can be graphed to show the optimal prices at the intersection of the demand and marginal cost curves (Fig. 11). In the peak period, price should be set at  $P_h$ , which is the intersection of the demand curve with the peak period marginal cost curve. In the off-peak period, prices should be set at  $P_l$ , where the demand curve intersects the off-peak marginal cost curve. In addition to the prices  $P_h$  and  $P_l$ , which are applied on a per volume basis, the customer, will also pay a fixed connection charge. The fixed connection charge, which covers any revenue shortfall, can be a single annual charge or can be spread out over the year.

During the peak period, the marginal cost is based on marginal operating cost, marginal capacity cost, and marginal waste treatment cost. The total peak period charge is summarized in equation (9).

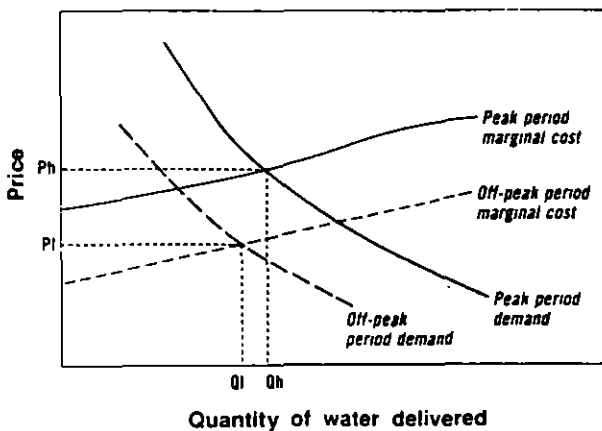


Figure 11. Prices in peak and off-peak periods.

$$\begin{aligned}
 \text{Peak period charge} &= \text{marginal operating cost (volumetric)} + \text{marginal capacity cost (volumetric)} \\
 &+ \text{marginal waste treatment cost (volumetric)} + \text{connection charge (fixed)}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

The total volumetric charge per unit of water used in the peak period is the sum of marginal operating and marginal capacity costs per unit.

During the off-peak period, volumetric and fixed charges will continue to apply, but marginal operation costs and marginal waste treatment costs will constitute the volumetric charge as shown in equation (10).

$$\begin{aligned}
 \text{Off-peak period charge} &= \text{Marginal operating cost (volumetric)} + \text{Marginal waste treatment cost (volumetric)} \\
 &+ \text{Connection charge (fixed)} \quad (10)
 \end{aligned}$$

Equations (9) and (10) define the basic rate structure for marginal cost pricing. All users pay a volumetric charge based on the marginal cost of supplying water and wastewater treatment plus a fixed connection charge. In the peak period, the volumetric charge will be higher because of the incorporation of marginal capacity cost.

This section outlines the methods for calculating the components of the water charge, including the marginal operating cost, the marginal capacity cost, and the fixed connection charge. The volumetric charge will often be the same for all customer classes and individual customers, since the marginal costs of "producing" and delivering water services are generally the same across all groups. Certain user groups may have significantly higher marginal costs because of distance from or elevation above central reservoirs or pumping stations. Some industrial or commercial customers may have higher marginal waste treatment costs because the by-products of their activities must be removed from wastewater. However, recovery of these types of costs from industry are probably best based on a surcharge related to the amount and concentration of the effluent rather than to the amount of water used by the firm. Marginal capacity costs would not usually vary between customers, since capacity requirements are related only to the amount of water required and not to the type of consumer.

Rate design using marginal cost pricing simplifies the rate-setting principles recommended by the standard AWWA rates manual (AWWA 1983). AWWA uses a system whereby costs are allocated between different customer classes, often resulting in declining block rate (DBR) schedules now in common use. Rate makers commonly justify DBRs by referring to the economies of scale that result from serving large users. Thus, such users face lower unit rates in

the higher blocks of the rate schedule. However, DBRs take no account of the fact that large users, by placing heavy demands on the water system, require larger capacity than users of smaller amounts of water. Marginal cost pricing implicitly recognizes the latter fact.

## SELECTION OF PEAK PERIODS

Peak demands occur on a seasonal, weekly, and daily basis. During the day, peak demands may occur during certain hours of the morning and afternoon. Weekly peaks can occur on days when there is a concentration of indoor or outdoor water use. Seasonal peaks occur in the summer when outdoor water use becomes prevalent. Utilities will not in general find it practical to institute a daily or weekly peak water charge because of the difficulty in monitoring the time of use. Therefore, the methodology reported in this chapter aims primarily at determining a seasonal peak period charge. Monthly or quarterly meter readings should be sufficient to distinguish between peak and off-peak water use.

The length of the summer peak depends on conditions specific to the utility, such as climate and socioeconomic characteristics of the market served. Most municipalities in Canada will experience a fairly clear peak for at least two months of the summer. In drier areas, this peak will extend for longer periods, starting in the late spring and running well into September. The increase in summer demands relative to the rest of the year has been observed to be as high as 300% in western Canada, with areas in eastern Canada often experiencing peak increases of up to 80%.

The selection of the actual period when peak charges will apply is based on both the frequency of meter reading and the length and size of the peak demands. If meters are read once per quarter, then the minimum length of the peak period charge is three months. Monthly readings give the utility more flexibility, allowing for a shorter or longer peak charge period (in monthly increments). A monthly or quarterly meter reading schedule will generally allow a reasonable match of billing periods to peak demand periods. If particular circumstances require a more exact designation of the peak period, utilities have the option of increasing the

frequency of their meter reading schedule in the summer months.

### ESTIMATION OF THE PEAK PERIOD MARGINAL COST CURVE

As shown in equation (9), the peak charge is the sum of the marginal operating cost, the marginal capacity cost, and the marginal waste treatment cost. The marginal capacity cost is the extra expense over the long run of capacity expansion that would be required by a permanent marginal increase (or decrease) in water use. The marginal operating cost is the short-run change in costs associated with an increase in water delivery. The marginal cost of waste treatment is the change in wastewater treatment cost associated with a marginal change in water use. These components can be summed to give a single peak period marginal cost curve.

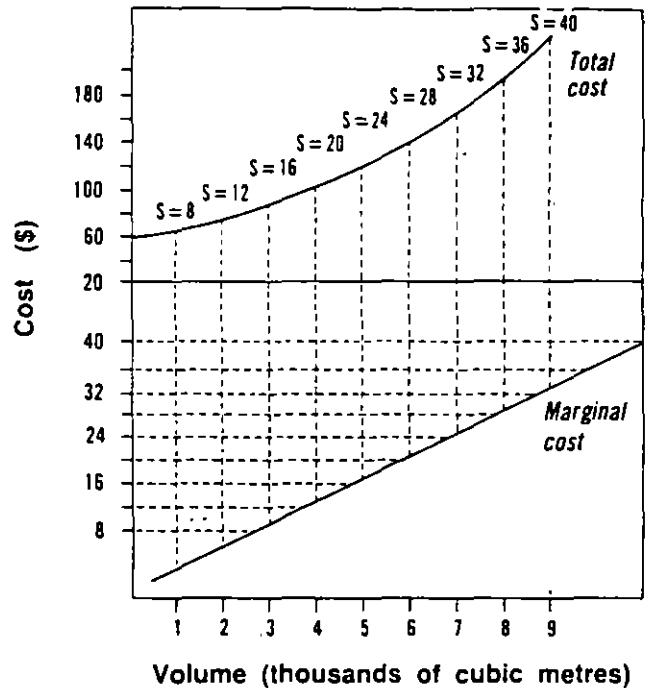
#### Marginal Cost of Water Supply

The analyst should first estimate the total peak period cost curve for peak period water supply as described in Chapter 4. The marginal cost curve for peak period water supply is derived simply by taking the slope of the peak period total cost curve at a number of points on the x-axis as shown in Figure 12. The resulting marginal cost curve shows the marginal change in operating costs plus capacity costs for a change in water delivery. These are in fact the first two components of the total marginal cost curve, which is derived from the total cost curve.

#### Marginal Waste Treatment Cost

The third component of the peak use charge is the marginal cost of waste treatment. The annual wastewater treatment marginal cost curve is obtained from the slope of the total cost curve for waste treatment, using a process similar to that shown in Figure 12. The annual curve should then be broken down into peak and off-peak marginal cost curves as described below.

The marginal cost for a unit of wastewater treatment is assumed equal in all periods. Therefore the peak and off-peak marginal cost curves have the same shape. The only difference is that the horizontal quantity scale in each period is changed to reflect the relative consumption in



Note: S = Slope

Figure 12. Peak period total cost and marginal cost curves.

each period, while the vertical cost scale remains the same. Figure 13 shows an example in which 30 million cubic metres of wastewater is treated, 10 million in the peak months, and 20 million in the off-peak period.

#### Summing the Marginal Water Supply and Waste Treatment Cost Curves

Adding the marginal waste treatment cost curve to the marginal water supply cost curve gives the peak period marginal cost curve (Fig. 14). Each point on the peak period marginal cost curve is the vertical summation of the corresponding points on the marginal water supply and waste treatment cost curves.

### ESTIMATION OF THE OFF-PEAK MARGINAL COST CURVE

The off-peak marginal cost curve consists of the marginal operating cost plus the marginal waste treatment cost. Calculation of the curve requires separate estimation of these two components, which are then summed over a range of

water delivery to give the off-peak marginal cost curve. The following sections give a methodology for approximating these two components of marginal cost.

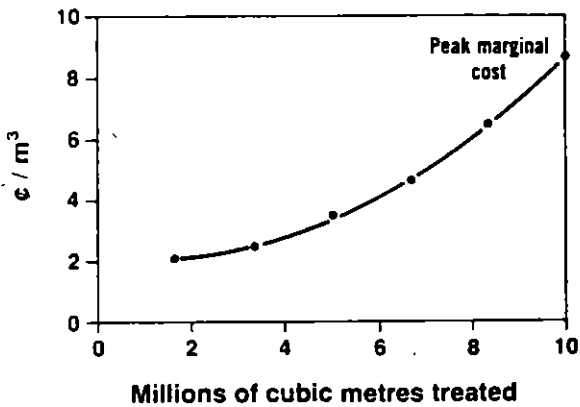
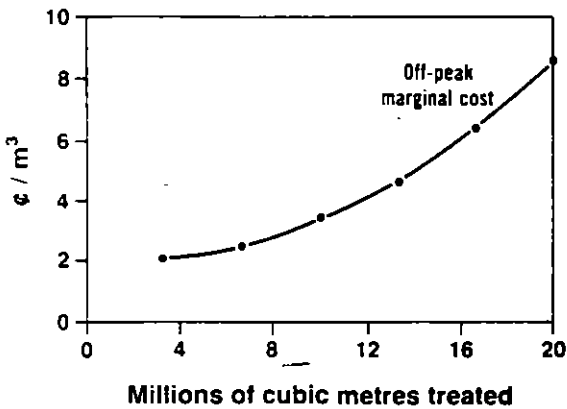
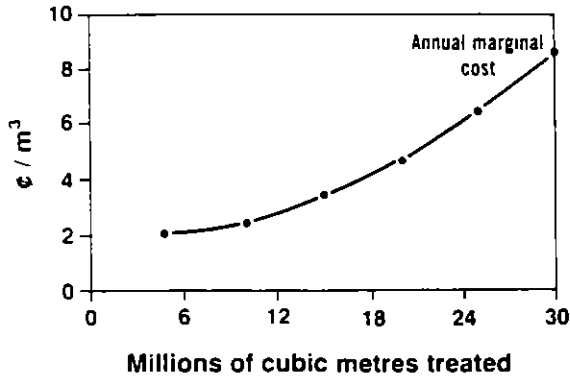


Figure 13. Peak and off-peak marginal waste treatment cost curves.

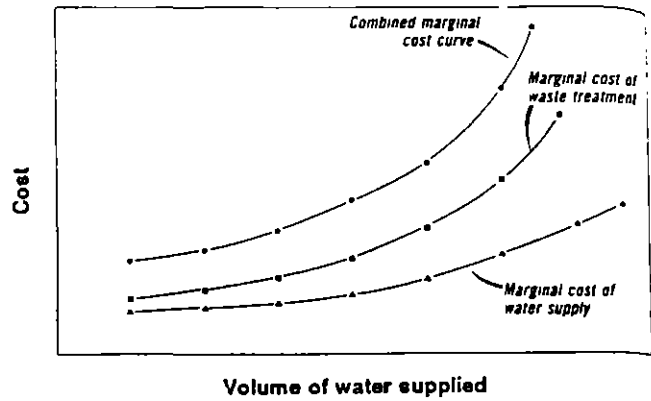


Figure 14. Peak period marginal cost curves.

### Marginal Operating Costs

Given adequate system capacity, the marginal operating costs are the costs associated with supplying an extra unit of water to a customer. When graphed against output (Fig. 15), the marginal operating cost usually declines to a certain point and then begins to rise. The marginal operating cost at the current output level should form the basis for the price charged. Although it is difficult to estimate the exact shape of the marginal operating cost curve, a reasonable approximation can be made with a straight

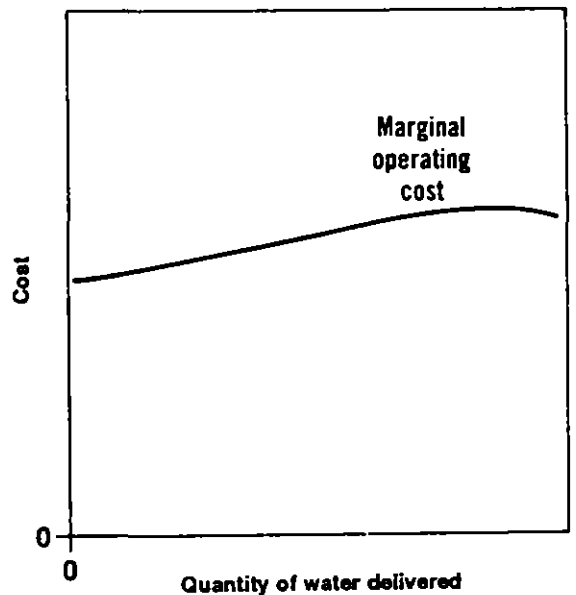


Figure 15. Marginal operating cost.

line, using the assumption that marginal costs are constant.

Marginal operating costs can be estimated by either econometric (statistical) methods or by approximation methods based on the judgment of the system managers. The econometric approach involves the estimation of a cost function and requires a significant amount of data on costs as well as the use of sophisticated statistical analysis. For large systems, the econometric approach should give accurate estimates when data are available. However, for many systems this approach will not be practical because of data and manpower limitations.

An alternative method for approximating marginal operating costs, based on variable costs, is presented below.

Rate setters can approximate marginal operating costs using the variable costs incurred from water system operations. As was discussed in Chapter 3, variable costs vary according to the amount of water delivered to customers in the short run. The unit variable cost, defined in Chapter 3, can be used as a straight-line approximation of marginal operating cost, as shown in equation (11).

$$MOC = \frac{AVC}{Q} \quad (11)$$

where MOC = marginal operating costs per unit of water delivered

AVC = annual variable costs

Q = total annual volume delivered

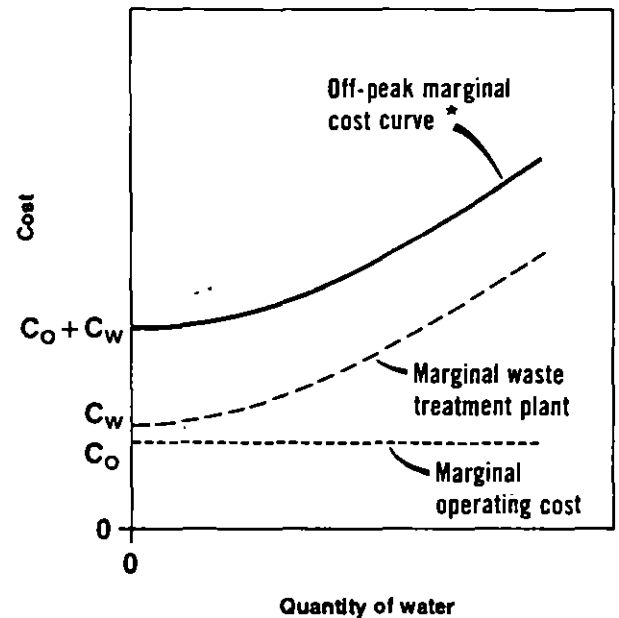
### Marginal Waste Treatment Costs

The marginal waste treatment curve has the same shape and vertical price scale in both peak and non-peak periods. As previously described, the horizontal quantity axis is changed to reflect the quantity of wastewater treated in each period.

### Summing the Marginal Operating and Marginal Waste Treatment Curves

The off-peak marginal cost curve is a vertical summation of the marginal operating and

the marginal waste treatment cost curves. For each level of water delivery measured along the x-axis, the two cost curves are added as shown in Figure 16 to give the off-peak marginal cost curve.



\* Marginal waste treatment plus marginal operating cost

Figure 16. Off-peak marginal cost curve.

## ESTIMATION OF WATER DEMAND FUNCTIONS

The demand curve for water is a mathematical or graphical representation of the consumers' response to a change in water price. At very low prices, or at a flat charge, the demand will be high, while at higher prices, the demand will be lower. The demand function for municipal water will be the aggregate of household, commercial, and industrial demand. The procedure outlined below suggests breaking down the demand curve into two categories, household and industrial/commercial, and estimating separate demand curves for each category.

The estimation of demand curves may be the most difficult part of the rate-setting exercise

because of a lack of data specific to the utility. The rate setter might have to make rough estimates of the demand curve that can be adjusted once volume based pricing is implemented. The initial consumer reaction to volume based pricing will provide additional data points for demand curve estimation as discussed below.

### Elasticity and Shape of Demand Curves

Research has shown that the elasticity of demand for domestic water generally falls between the range of  $-1$  and  $-1.0$  (Fig. 17), with the median between  $-2$  and  $-3$ . In the estimation procedures and generic demand curves presented below, elasticities of  $-1.0$ ,  $-2.0$ ,  $-2.5$ ,  $-3.0$ ,  $-4.0$ , and  $-5.0$  are used. Some studies have indicated that the peak period demand is more elastic than the off-peak period demand, while others have indicated little difference in elasticities in the two periods. The analyst will have to select the elasticity that is most appropriate to his utility in each period, depending on the climate, income, and housing characteristics of the area served.

The few studies carried out on industrial/commercial water demand have shown a wide variability in elasticity, mostly between  $-0.05$  and  $-1.0$ , which is not surprising, given the diversity in the kinds and sizes of industrial establishments. The frequency distribution of elasticities from these studies appears almost rectangular with no apparent median (Fig. 18). However, most municipalities have a mix of industrial and commercial establishments, which would tend to make the aggregate water demand approach the average figure of about  $-5$ . Accordingly, the generic commercial/industrial demand curves given below are between  $-3$  and  $-7$ . Again the choice of elasticity for rate setting will be up to the analyst.

Demand functions for water are usually curved towards the origin, rather than straight. Absolute levels of water demand change more dramatically at the lower end of the price scale. For example, a change in price from 0 to 10 cents per cubic metre will have a larger effect on the absolute level of consumption than a change in price from 50 cents to 60 cents. The elasticity, which measures the percentage change in quantity relative to the percentage change in price, is more likely to be constant over the length of the demand curve. The estimation procedures de-

scribed below use curved demand curves with constant elasticities.

Depending on the current pricing system and the amount of data available, different strategies for approximating demand curves will have to be employed. These strategies are outlined below.

### Systems Presently Charging Flat Rates

Under a flat rate the effective marginal price of water is zero. The only observed point on the demand curve is at the zero price. The rest of the demand curve can only be extrapolated based on assumptions about the elasticity and the shape of the curve. To aid in this extrapolation, this section provides a set of generic demand curves for each of the two categories, residential and industrial/commercial. Each set contains a number of demand curves with a range of elasticities and consumption levels at the zero marginal price. The analyst should select the elasticity and consumption level that seems most appropriate for the utility. If the area is relatively wealthy, with a hot dry climate, then the less elastic demand curve should be chosen. Analysts should use the more elastic demand curves for areas that have lower incomes or moist climates.

The residential water demand curves represent monthly household demand for water. Figures 19 to 24 show demand curves with different consumption levels at the zero marginal price. The analyst should select the demand curve that most closely matches the expected elasticity and the monthly household demand at zero marginal price. Multiplication of this demand by the number of households served gives the aggregate residential water demand curve for the utility on a monthly basis. Multiplying the monthly aggregate demand curve by the number of months in each of the peak and off-peak periods will give the aggregate household demand for each period.

The industrial/commercial water demand curves provided in this section represent monthly aggregate municipal demand for water. Because industrial/commercial demand varies widely between municipalities, Figures 25 to 29 have a number of optional scales on the quantity axis.

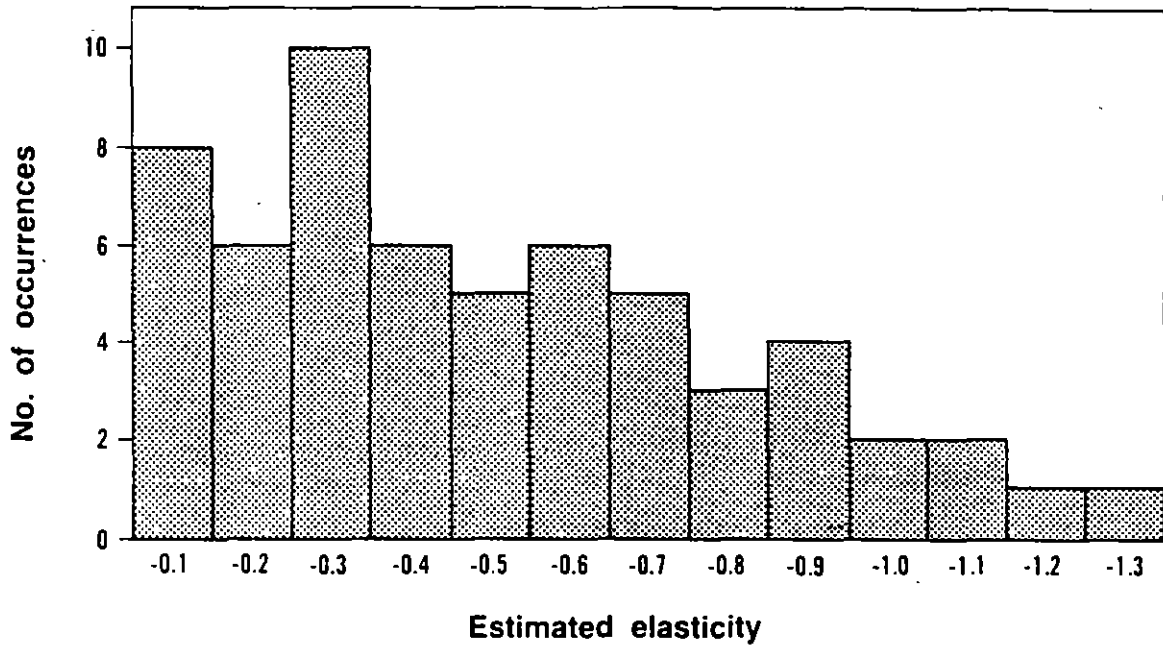


Figure 17. Frequency distribution of price elasticity for residential water demand functions (from various studies in the 1960s, 70s and 80s).

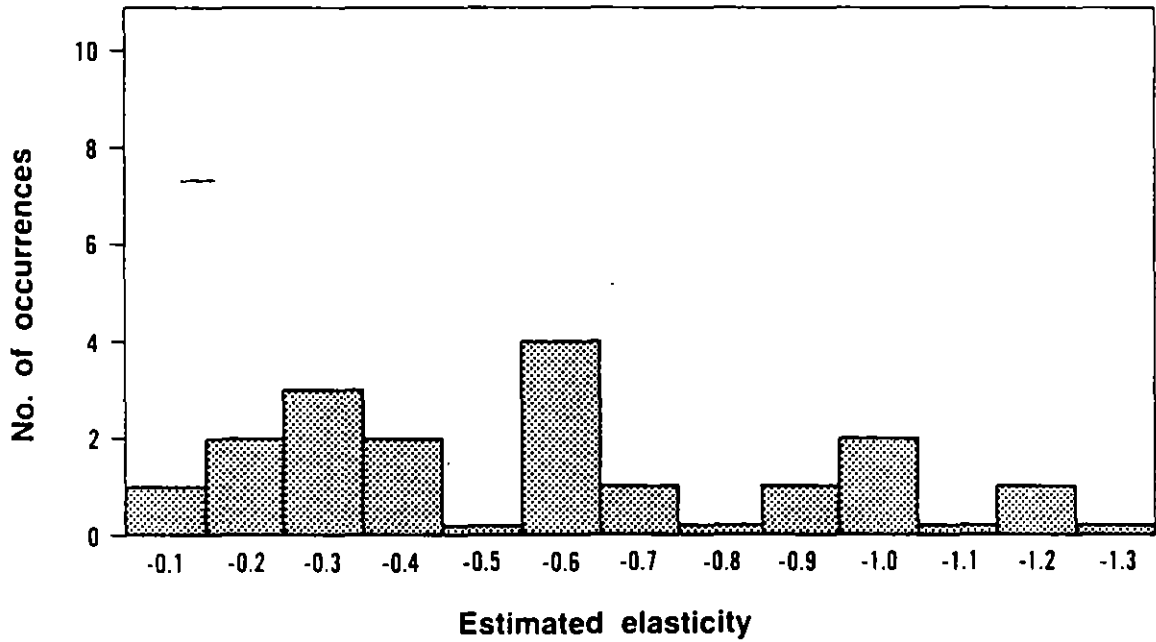


Figure 18. Frequency distribution of price elasticity for industrial water demand functions (from various studies in the 1960s, 70s and 80s).

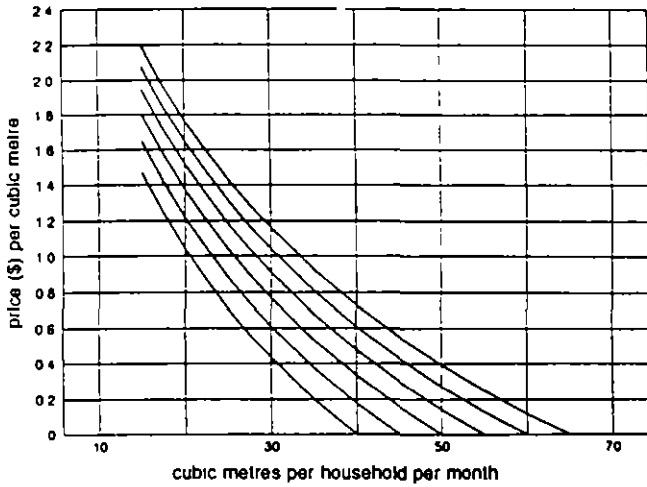
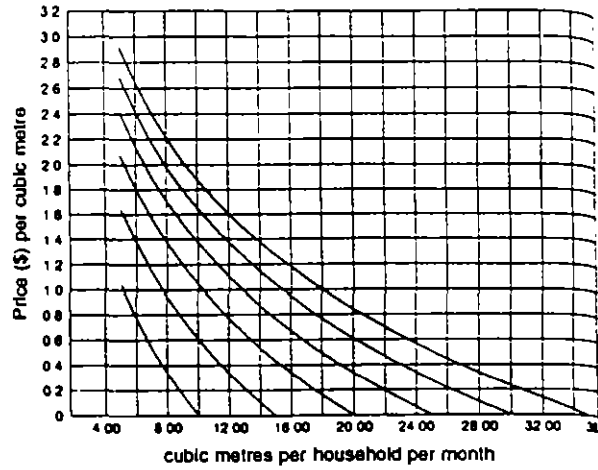


Figure 19. Residential water demand, elasticity = -0.10



$\epsilon = -1.0 ?$

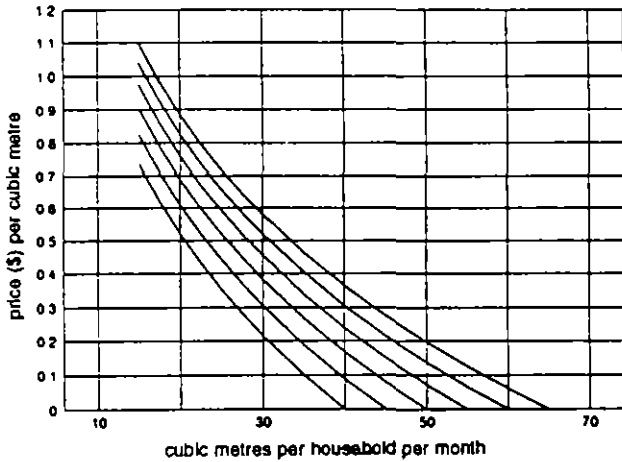


Figure 20. Residential water demand, elasticity = -0.20

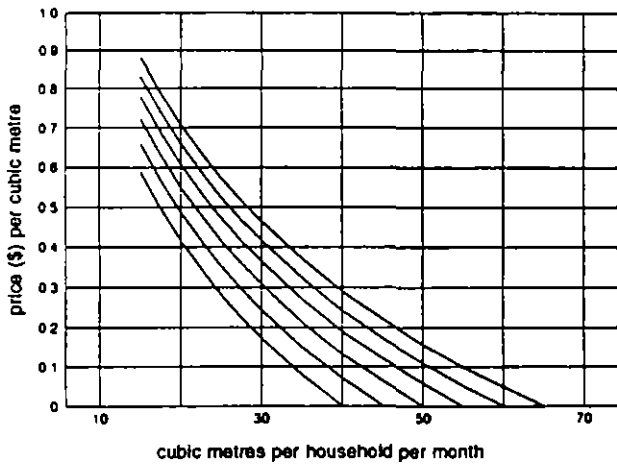
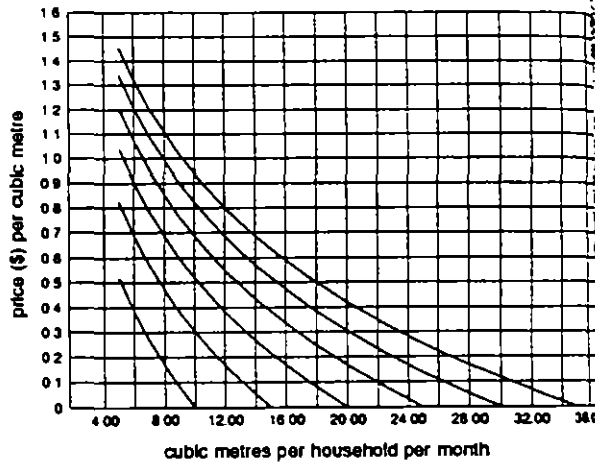
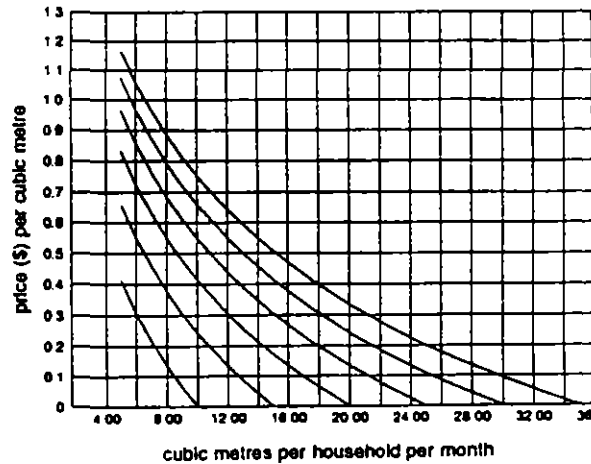


Figure 21. Residential water demand, elasticity = -0.25





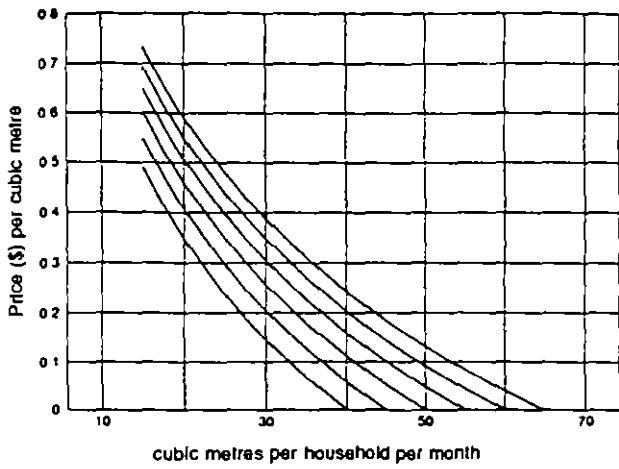


Figure 22. Residential water demand, elasticity = -0.30

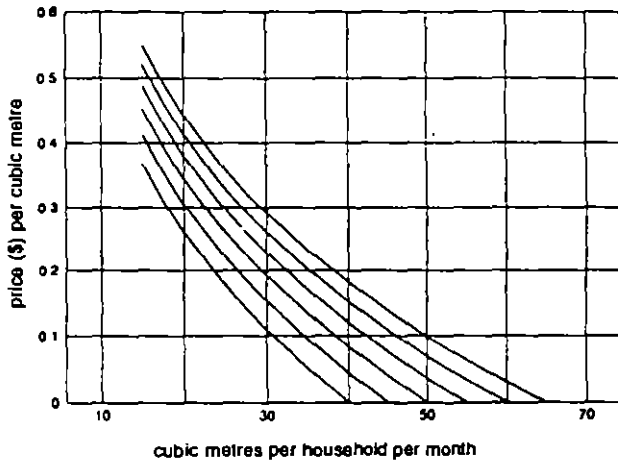
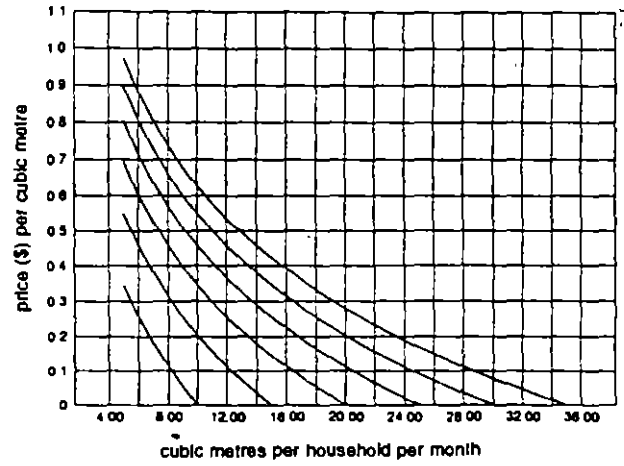


Figure 23. Residential water demand, elasticity = -0.40

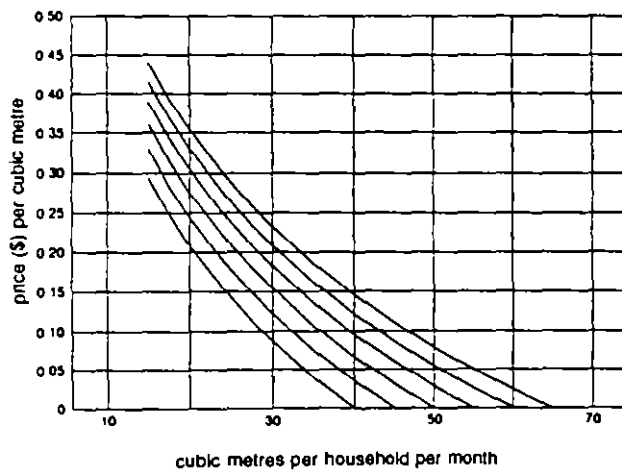
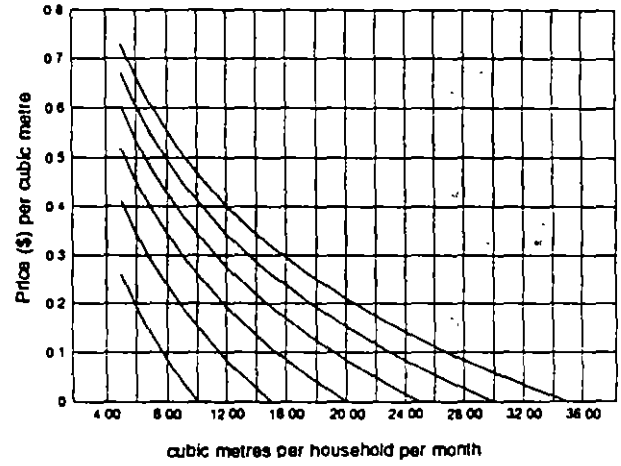
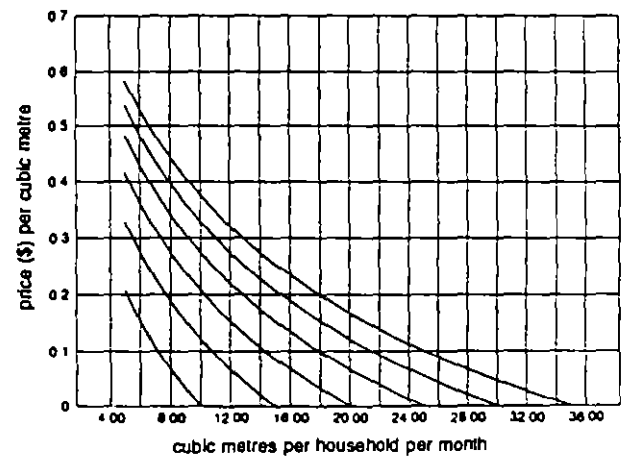


Figure 24. Residential water demand, elasticity = -0.50



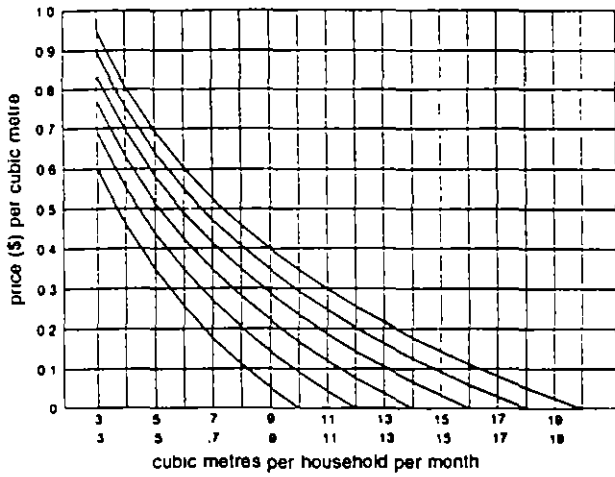


Figure 25. Industrial/commercial water demand, elasticity = -0.30

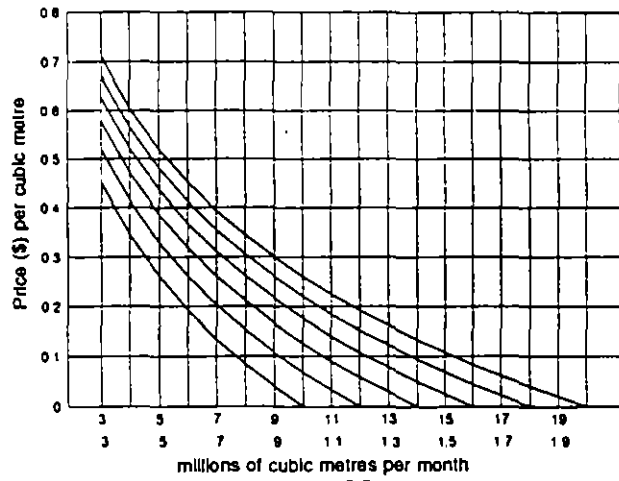
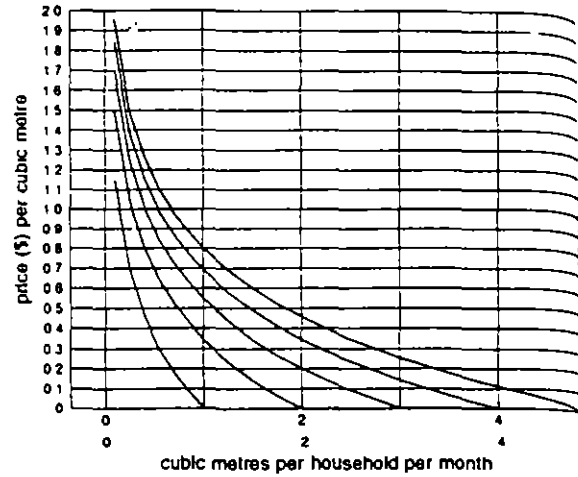


Figure 26. Industrial/commercial water demand, elasticity = -0.40

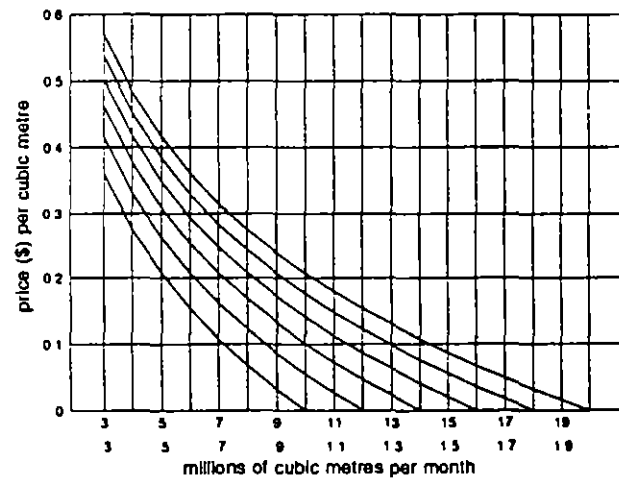
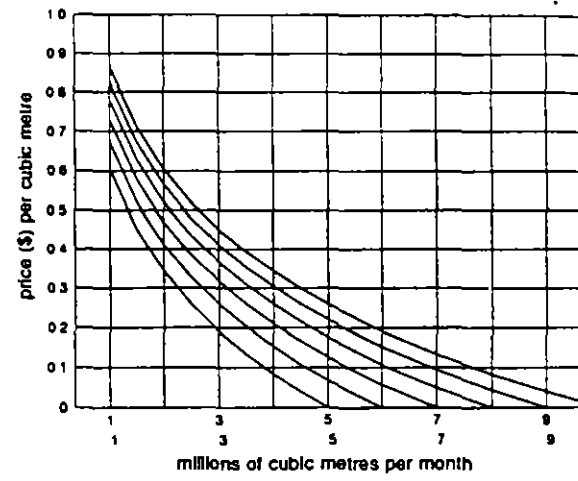
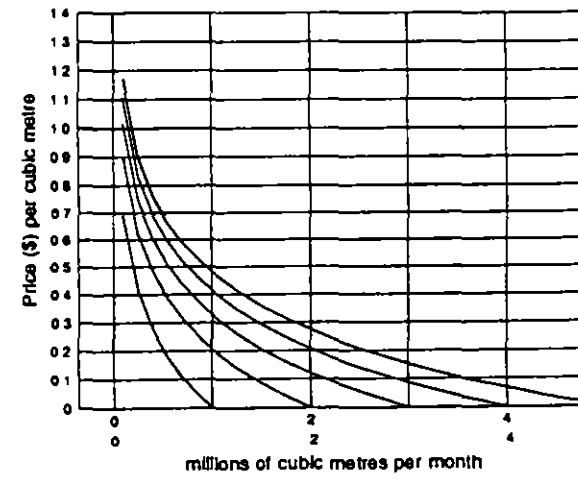


Figure 27. Industrial/commercial water demand, elasticity = -0.50



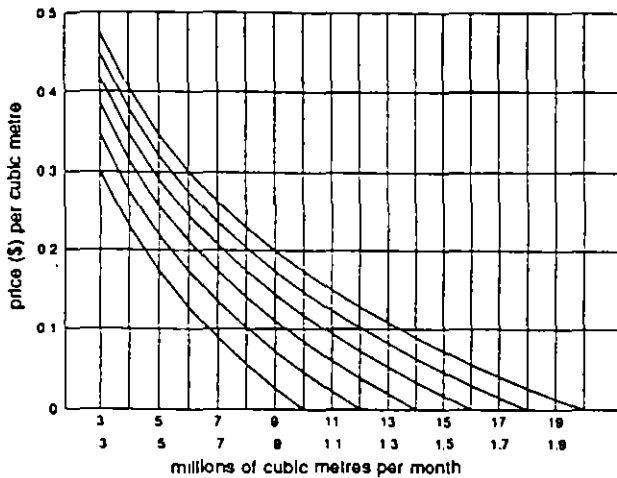


Figure 28. Industrial/commercial water demand, elasticity = -0.60

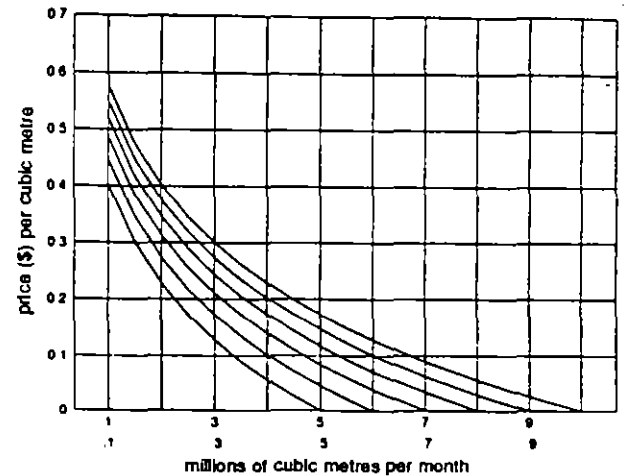
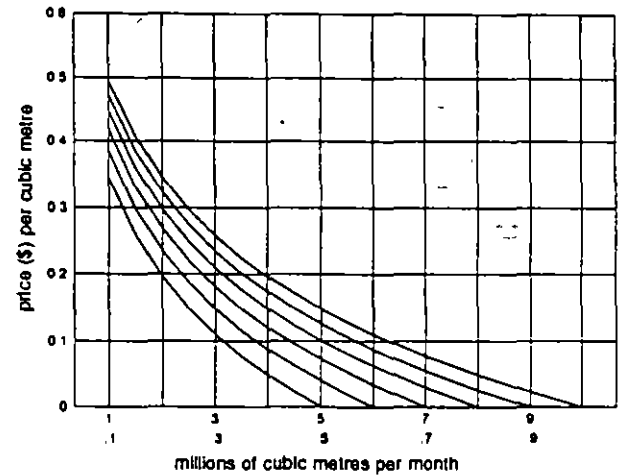
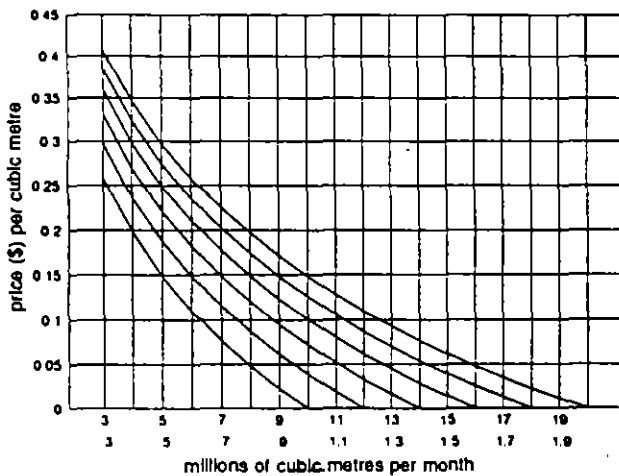


Figure 29. Industrial/commercial water demand, elasticity = -0.70



The analyst should choose the most appropriate scale for the municipality and then select the demand curve that most closely matches the expected elasticity and the consumption at the zero marginal price. As with residential water demand, the analyst should multiply this demand curve by the number of months in each of the peak and off-peak periods to obtain the demand curves for the two periods.

**Systems Charging a Non-Zero Price but with No Supplementary Price Data**

This category pertains to systems that charge a positive marginal price that has not varied

significantly over time or across geographical regions of the service area. In these cases, only one observed point on the demand curve exists, and so the rest of the curve must be extrapolated. The analyst can use the same procedure as was used for flat rate systems above, first deciding on the appropriate elasticity and then selecting the demand curve that most closely reflects the actual quantity demanded at the current marginal price. This procedure applies to both the domestic and commercial categories as well as to the peak and off-peak periods.

For systems that use a declining or increasing block rate system, the marginal price must

first be determined. The marginal price can be approximated by the price of the particular consumption block that most households fall under for their last unit of consumption.

### Systems with Limited Information on the Effects of Price on Demand

This category includes systems where only a small portion of the demand curve can be estimated from consumption and price data. For example, some municipalities or regions may charge a volume based price in metered areas and a flat rate in unmetered areas. In this case two observed points on the demand curve exist: one at the zero marginal price and the other at the metered price. Drawing a straight line between the two points will give an estimate of the slope of the demand curve at the current consumption level (Fig. 30). In other cases, the utility may have changed its price for water over time, with some corresponding change in consumption. The consumption levels can be plotted against the prices to give a small portion of the demand curve. The slope of this portion of the curve gives a point estimate of slope at current consumption levels.

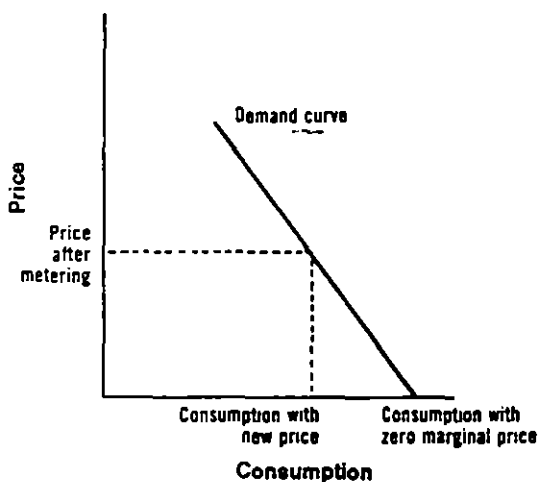


Figure 30. Estimation of demand curve using consumption before and after metering.

Using the slope, the current consumption level, and the current price, the analyst can determine a demand curve with constant elasticity.

The general functional form of such a demand curve is represented by equation (12).

$$Q = \alpha P^\beta \quad (12)$$

where  $Q$  = quantity of water demanded

$P$  = marginal price

$\alpha$  = a constant

$\beta$  = a constant (less than zero)

The slope of this function at any point is designated by  $S$  and is always negative. If the analyst has an estimate of the slope, he can determine the parameter  $\beta$ , which represents the elasticity of demand, using equation (13).

$$\log(-\beta) = \log(-S) - \log(Q) + \log(P) \quad (13)$$

Equation (13) is used to solve for  $\log(-\beta)$ . Using a table of logarithms, the value for  $-\beta$  and thus  $\beta$  can be determined. Once the value for  $\beta$  is obtained, the value of  $\alpha$  can be determined by substituting the values of  $\beta$ ,  $Q$ , and  $P$  back into equation (12).

The procedure outlined above applies to demand curves for both the domestic and industrial/commercial categories in both peak and off-peak periods, provided that the analyst has an initial estimate of the slope.

### Systems with a Range of Price and Quantity Data

There may be a few utilities for which significant data exist on the effects of price variation on demand. This could be the case for utilities that serve many different communities, each of which charges a different price. The rate setter may also compare water consumption for several different utilities that charge a range of prices. In other cases, individual utilities may have significantly altered prices over time. Both time series and cross sectional variation in price may exist for some utilities.

If the corresponding water demand can be matched to the price in each time period or sub-region, then a statistical (econometric) estimation can be made of the demand curve for water. Other explanatory variables affecting water

demand, such as income and weather, should also be incorporated in the estimation. Although technical, this type of analysis will give accurate estimates of the demand curve if sufficient data exists. Econometric procedures are complex and a detailed study of the methodology is beyond the scope of this paper. If analysts wish to use econometric methods for water demand curve estimation they should refer to studies such as Renzetti (1990) or Shaw (1988).

Econometric estimations usually require a minimum of 15 to 20 observations to obtain statistically significant estimates of the demand curve. A higher number of observations will give more accurate results. If the minimum number of observations cannot be obtained, the analyst may be able to plot the data and make a visual estimate of the demand curve.

#### Obtaining the Aggregate Water Demand Curve in Each Period

The aggregate demand curve in each of the peak and off-peak periods consists of both the domestic water demand curve and the industrial/commercial water demand curve. A horizontal summation of quantities from both demand curves gives the aggregate demand curve (Fig. 31).

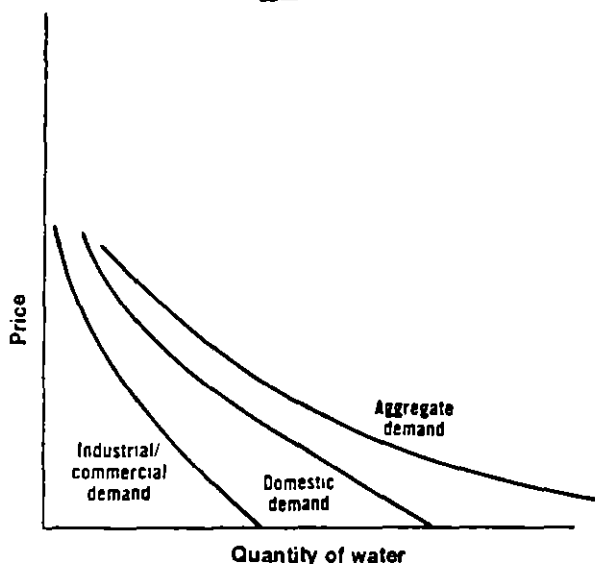


Figure 31. Horizontal summation of demand curves.

#### DETERMINING PRICE AND TOTAL REVENUE FROM VOLUMETRIC PRICING

At this stage, the analyst can graph the marginal cost curves and demand curves in the peak and non-peak periods to determine the respective prices. The intersection of the marginal cost curve and demand curves determines the optimal price in each period as was shown in Figure 11 at the beginning of this chapter. A projection from the demand curve onto the quantity axis gives the quantity demanded at the optimal prices. Multiplying this quantity by the price gives the total revenue from the volume based price in each period. A summation of the revenues in the peak and off-peak periods gives the total revenue from the volumetric price.

#### CALCULATION OF THE FIXED CONNECTION CHARGE

As shown in equations (9) and (10), a fixed connection charge paid by each customer is the final element of the proposed price schedule. This charge, which does not vary with the amount of water consumed, aims at covering costs not included in the volumetric portion of the rate. The connection charge is based on the difference between the annualized cost of the water system and the total revenue obtained from the volumetric charge.

The total cost curve in the peak and off-peak periods shows the total costs of water supplied at the optimal price level. If these costs are greater than the total revenues from volumetric pricing, then utilities should apply a fixed connection charge to each customer. This will likely be the case if the utility faces significant fixed costs.

As discussed in Chapter 3, rate setters can use the fixed connection charge to account for the differences in the average costs of supplying different customers. The simplest method of calculating the connection fee per customer, which is to divide the revenue shortfall by the number of connections, results in a lower average price for high volume users. Equation (14) states this calculation mathematically for the individual customer.

$$FC = \frac{TAC - RV}{C} \quad (14)$$

where FC = the fixed connection charge per customer

$C_n$  = number of connections to the water system in class n

TAC = total annualized cost of system operations

RV = revenue received from the volumetric portion of the rate schedule

C = number of connections to the water system

Since the connection charge is the same for all users regardless of the amount of water consumed, high volume users will pay a lower average price than low volume users. The rate setter may consider this to be a fair system if the average costs of supply are lower for the larger connections. However, if the utility serves a mixed market that includes some very high volume users, then this system may result in an unfair burden on the smaller customers.

The rate setter has some leeway to adjust the connection charge in favour of either low volume or high volume customers by dividing customers into classes related to current water demand. The number of classes is arbitrary, but some natural groupings of customers may exist. For example, utilities often serve a few large industrial customers, several light industries, numerous commercial establishments, and a large number of households. Within each of these classes, water demand will be roughly similar, and a common connection charge within each category would be fair. For each class, the utility can calculate the per customer connection charge as in equation (15).

$$FC_n = \frac{W_n (TAC - RV)}{C_n} \quad (15)$$

where  $FC_n$  = the fixed connection charge per customer in class n

$W_n$  = a weighting factor applied to class n

TAC = total annualized cost of system operations

RV = revenue received from the volumetric portion of the rate schedule

The sum of the weighting factors for all classes should equal one, and the choice of the relative weights between classes is up to the utility. The relative weights will usually relate to average supply costs for each class. For example, the utility may estimate that the class of heaviest water users accounts for 10% of the fixed costs of water supply. The weighting factor,  $W_n$ , in equation (15) would thus equal 10%. In other cases, a utility may decide that there are no fixed cost differences in supplying different sized customers. In these cases, the weighting factor for a class of customers should equal the relative proportion of the total water supply consumed by that class. This weighting scheme would result in the same approximate average price for all users.

The determination of the average cost of supply for different classes of customers relies on the judgment of the analyst. For each customer class, the analyst should examine the portion of fixed costs that can be attributed to supplying this class. For many fixed cost items, the amount attributable to various customer classes will simply be proportional to the total water consumed by the customer class. For these items there are no cost advantages that occur for a single large consumer relative to a number of small consumers. For example, the fixed costs of reservoir capacity are related only to total volume of water supply. The costs of the reservoir remain the same whether this capacity is used to supply a few large customers or whether it is used to supply many small customers. Some fixed cost items, however, do relate to the relative size of individual customers. Administrative fixed costs such as meter reading and bill processing will be much higher for a number of small customers than for a few large customers. Thus, the high volume customer classes account for proportionally fewer of these fixed cost items. Adjustment of the weighting factor in the connection charge will account for these cost advantages.

As long as the volumetric portion of the rate schedule reflects marginal costs, the relative weights given to the connection charges will not affect the efficiency of the price system. Therefore, the volumetric portion of the rate structure

should remain invariable between customers. Only the fixed connection charge should be used to account for differences in the average costs of supply between customers.

### SUMMARY

This chapter has outlined the basic methods for rate design that use marginal cost pricing principles. The basic rate design involves a volumetric component and a fixed connection charge. In the off-peak period, the volumetric component equals the marginal operating cost plus marginal waste treatment cost; in the peak period, it equals the sum of marginal operating costs, marginal capacity cost, and marginal waste treatment cost. The effect of volume based pricing on demand is accounted for by setting the prices at the intersection of the marginal cost curve with the demand curve in each of the peak and off-peak periods. The fixed connection charge is added to capture any costs not covered by the volumetric charges.

Marginal operating costs can be approximated by the variable costs of water supply. Some costs are easily identifiable as variable, while other costs will require a subjective judgment by the analyst as to whether they are. Esti-

mation of marginal capacity costs is based on the principle that reduced demand can delay requirements for future capacity expansion, thus resulting in cost savings. The slope of the peak period total cost curve for water supply gives the marginal cost curve for water supply. In a similar fashion, the marginal cost curve for waste treatment is derived from the slope of the wastewater treatment total cost curve.

The primary function of the fixed connection charge is to recover any deficits resulting from the volumetric price. It also serves as a means of accounting for the differences in the average cost of supply between customers. Rate setters have the choice of simply dividing revenue shortfalls by the number of connections to give a fixed connection charge per customer or of calculating a separate connection charge for each class of customer. The method used will depend on the mix of customers served and the nature of fixed costs facing the utility.

Using the pricing principles discussed in this chapter, a utility should be able to achieve both economic efficiency and full cost recovery. The implementation of these principles into water rate setting is both practical and straightforward. Examples of applications of these principles are given in the next chapter.

## Examples of Marginal Cost Pricing

This chapter examines the application of the marginal cost pricing principles to two hypothetical water supply and wastewater treatment systems. It uses information from standard financial statements, operating plans, and capital expenditure plans to generate the necessary information to estimate marginal costs. The two case studies represent a range of systems, from a large urban waterworks to a smaller system for a mid-size community.

The nature of water supply costs will vary widely between regions and municipalities in Canada. In particular, the relative weights of capacity costs versus operating costs can show substantial variation between systems. For example, utilities that have surface water with significant gravity pressure are likely to have much lower operating costs than groundwater systems. Marginal capacity costs for rapidly growing areas will be much higher than for low-growth areas. Many other factors will affect both marginal and capacity costs. The examples given in this chapter represent a range of water supply systems, and the calculated marginal costs and rates are not meant as baseline figures for specific municipalities. The absolute price level and the relative differences between peak and non-peak prices must be calculated for each system. Analysts should not be surprised if the marginal costs they calculate for their systems are substantially different from the examples shown in this chapter.

Because of the various technologies in use, wastewater treatment costs also show a tremendous variation between municipalities. Geographical factors greatly influence the standards required for effluent discharged. Various levels of treatment — primary, secondary, or tertiary — may be needed to meet the required standards. The level of treatment will usually be the major

factor influencing the level of costs. In many cases, particularly when advanced treatment is required, the wastewater treatment costs can be far greater than the costs of water supply. For systems using only basic levels of treatment, the wastewater treatment costs can be less than the costs of water supply. Despite this variability in wastewater treatment costs, the approximation methods for estimating marginal costs should be reasonably accurate in most cases.

Table 10, which is a check list of the procedures for marginal cost pricing, was used as a step-by-step guide for determining the marginal costs and water prices for the case studies.

These steps are undertaken in the two examples that follow.

### CASE ONE: LARGE URBAN AREA

#### General Setting

This water supply utility supplies a major urban area with a population of over two million. It includes 325 000 residential connections to the water system. The utility acts as a wholesaler, supplying water to several member municipalities. The member municipalities incur the retail expenses associated with water servicing, including bill collection, administration, and regulation. In the most recent year of operation, the utility supplied approximately 275 million cubic metres of water. About 60% of this water, or 165 million cubic metres, is supplied during the peak summer months. The remaining 110 million cubic metres are supplied during the off-peak months. The sprawling nature of the area necessitates several secondary reservoirs and a complex system of water mains. Natural water quality is high since primary





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**"PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS"**

**MODULO VI: PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS.**

**REPRODUCIDO DE: ODEPLAN, MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA  
DE AGUA POTABLE Y EVACUACION DE AGUAS SERVIDAS DE  
PENCO Y LINQUEN (SANTIAGO, 1983)**

**Palacio de Minería**

**1995**

#### IV. EVALUACION SOCIAL

La evaluación social de los proyectos definidos se realiza utilizando los indicadores VAN y TIR, considerando los costos y beneficios sociales ocasionados en un horizonte de 50 años. La tasa de descuento utilizada es la tasa social calculada por la Oficina de Planificación Nacional (ODEPLAN) y es 20% para 1983; 16% para 1984; 12% para 1985, y 10% para 1986 en adelante.

##### A. Metodología de estimación de beneficios

La metodología de evaluación parte de la base que el consumo de agua potable y la evacuación de aguas servidas forman parte de un mismo proceso; por lo tanto, los beneficios derivados del consumo de agua deben ser suficientes para pagar los costos de producir y de evacuar el agua.

Para evaluar socialmente los beneficios del proyecto se desarrolló una metodología que abarca dos niveles, el del consumidor individual y el nivel agregado.

##### 1. El nivel del consumidor individual

El modelo para estimar los beneficios distingue entre cuatro tipos de consumidores conforme a su estratificación socioeconómica y a la manera en que los afectarán los distintos proyectos. Primeramente, el modelo se refiere a los consumidores de "muy bajos ingresos" (CAS 1-2 y 3), a los cuales se instalará casetas sanitarias. En seguida, debido a que se comprobó que los consumidores

de agua presentan diferentes hábitos de consumo conforme a la infraestructura sanitaria para consumir agua y al sistema de evacuación de aguas servidas que poseen, se trabajó con curvas de demanda diferentes para consumidores con pozo negro y para consumidores con alcantarillado o fosa séptica. Debido a que los beneficios del proyecto estanque recaen sobre quienes hoy enfrentan limitaciones de presión de agua, cuyos consumos son menores que los que tendrían sin dicha restricción, el modelo contempla esta situación en sus demandas.

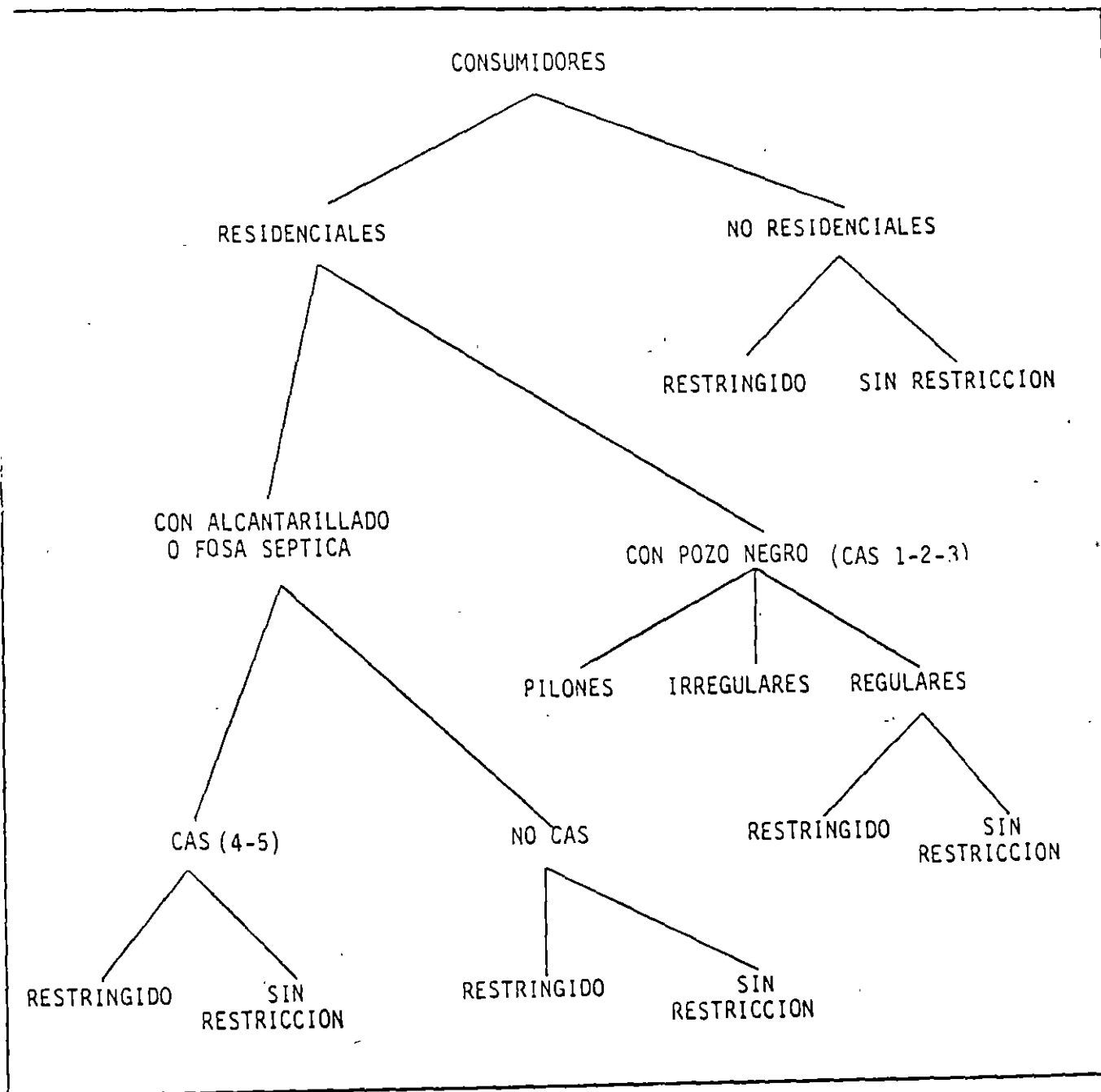
Para considerar simultáneamente la condición socioeconómica, la condición sanitaria y la situación de restricción en el abastecimiento de agua potable que tienen los consumidores, el modelo finalmente distingue entre trece grupos de consumidores diferentes. El Gráfico Nº 1 muestra los diez grupos de consumidores que son los que forman parte del sistema en la situación actual. Los tres grupos restantes son: a) nuevos consumidores provenientes del sistema alternativo; b) consumidores a los que, teniendo arranques residenciales regulares o irregulares, se les instalará casetas sanitarias y c) consumidores a los que se les instalará casetas sanitarias y que se abastecían por acarreo desde pilones.

## 2. El nivel agregado

A nivel agregado, el modelo está formado por la curva de demanda que se obtiene agregando las demandas de los trece grupos de

Gráfico N°1

Grupos de consumidores



consumidores definidos, y por la curva de oferta agregada del sistema, la que define conjuntamente con la demanda agregada la capacidad máxima de venta.

Este modelo, si bien tiene algunas bases comunes con el SIMOP (Modelo de Simulación de Obras Públicas elaborado por el Banco Interamericano de Desarrollo), se distingue de él en diversos aspectos.

Las principales similitudes con el SIMOP están en el tratamiento de las ampliaciones de capacidad del sistema de agua potable, y en la forma de distribuir los déficit en los períodos en que la demanda supera a la oferta.

Entre las diferencias, se pueden destacar:

i) El modelo adopta curvas de demanda que son rectas; el SIMOP acepta también curvas hiperbólicas de demanda, que el presente modelo no admite.

ii) El modelo permite valorar los beneficios de proyectos de alcantarillado domiciliario.

iii) Para construir las curvas de demanda no se utiliza la elasticidad-precio de la demanda, sino que se construyen a partir de dos puntos conocidos o estimados. Para cada uno de los trece grupos de consumidores el modelo da la opción de definir una curva de demanda lineal diferente para cada grupo.

iv) El modelo calcula la capacidad máxima de venta, como la máxima cantidad de agua que es posible vender y que está acotada por la oferta en los períodos en que la demanda supera a la oferta

y está acotada por la demanda en los períodos en que la oferta supera a la demanda. El SIMOP, en cambio, considera que la capacidad máxima de venta coincide con la capacidad del sistema.

#### B. Estimación de beneficios sociales

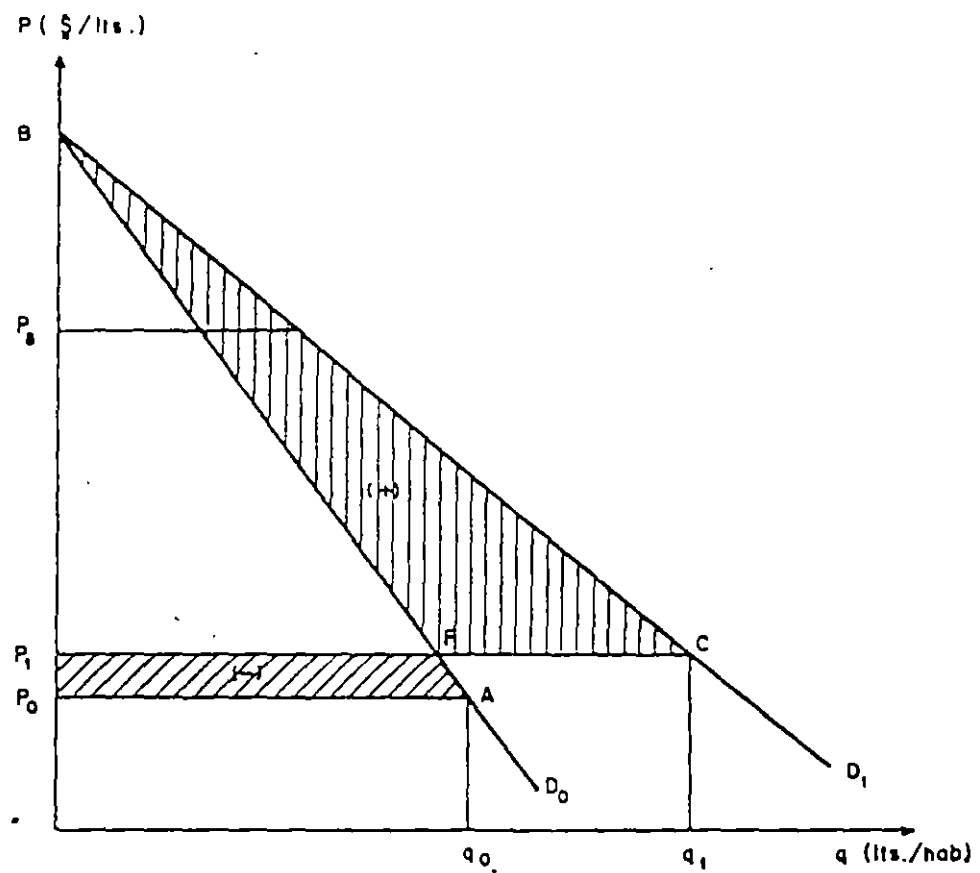
Los beneficios que los consumidores perciben con el proyecto son:

i) Beneficios derivados de la instalación de casetas sanitarias a los consumidores con pozo negro que poseen conexión domiciliar de agua potable: el caso se explica en el Gráfico N° 2. El consumidor con pozo negro que recibe agua en su vivienda sin restricción en el abastecimiento, se ubica en el punto A de la curva de demanda  $D_0$ , obteniendo un excedente del consumidor igual al área  $P_0AB$  para un consumo estimado en 90 lts/hab-día, según se indica en el Cuadro N° 4. La construcción de una caseta sanitaria provoca el traslado de la demanda a  $D_1$ , y el consumidor se ubicará en el punto C, puesto que en la nueva situación él posee los artefactos y condiciones intradomiciliarias para consumir y evacuar adecuadamente el agua. El excedente social del consumidor es ahora igual al área  $P_1CB$  para un consumo de 150 lts/hab-día. El beneficio bruto del proyecto para el consumidor es entonces igual a la diferencia de excedentes, representada en el Gráfico N° 2 por el área  $FCB$  menos el área  $P_0AFP_1$ . El beneficio neto anual

del proyecto Casetas es igual a éste menos el costo anual equivalente de las inversiones necesarias para construir las casetas, realizar la conexión domiciliaria y la infraestructura sanitaria que ella provee.

Gráfico Nº 2

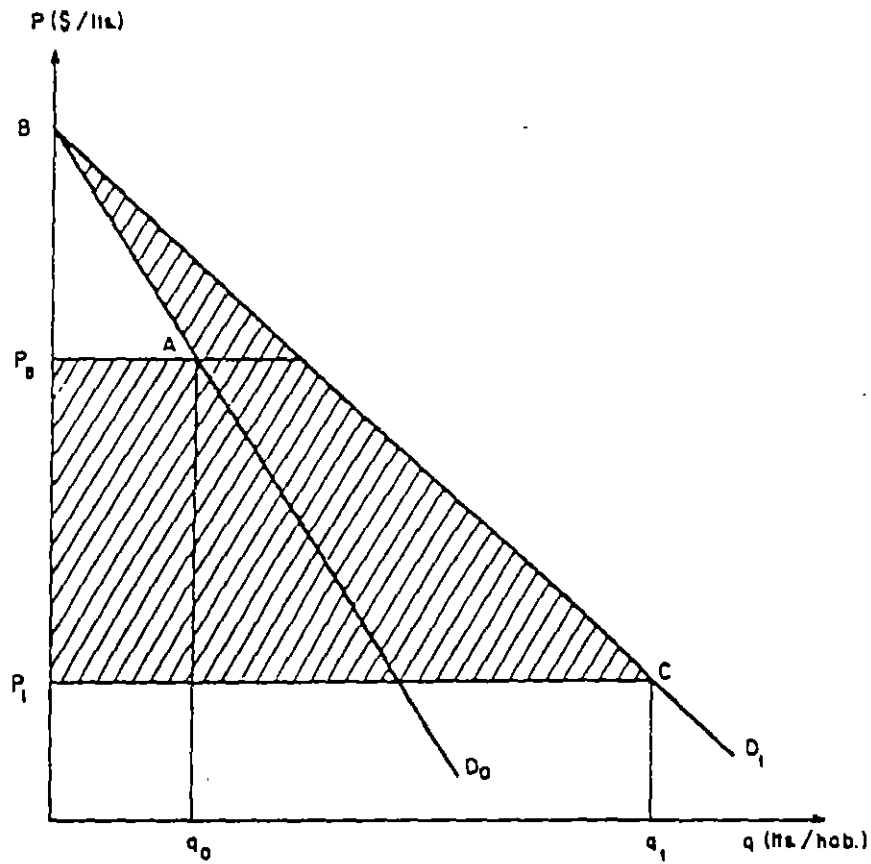
Beneficios por casetas sanitarias  
(arranques domiciliarios)



ii) Beneficios derivados de la instalación de casetas sanitarias a los consumidores que se abastecen de agua por acarreo y tienen pozo negro: El caso se presenta en el Gráfico N° 3.

Gráfico N° 3

Beneficios por casetas sanitarias  
(pilones)

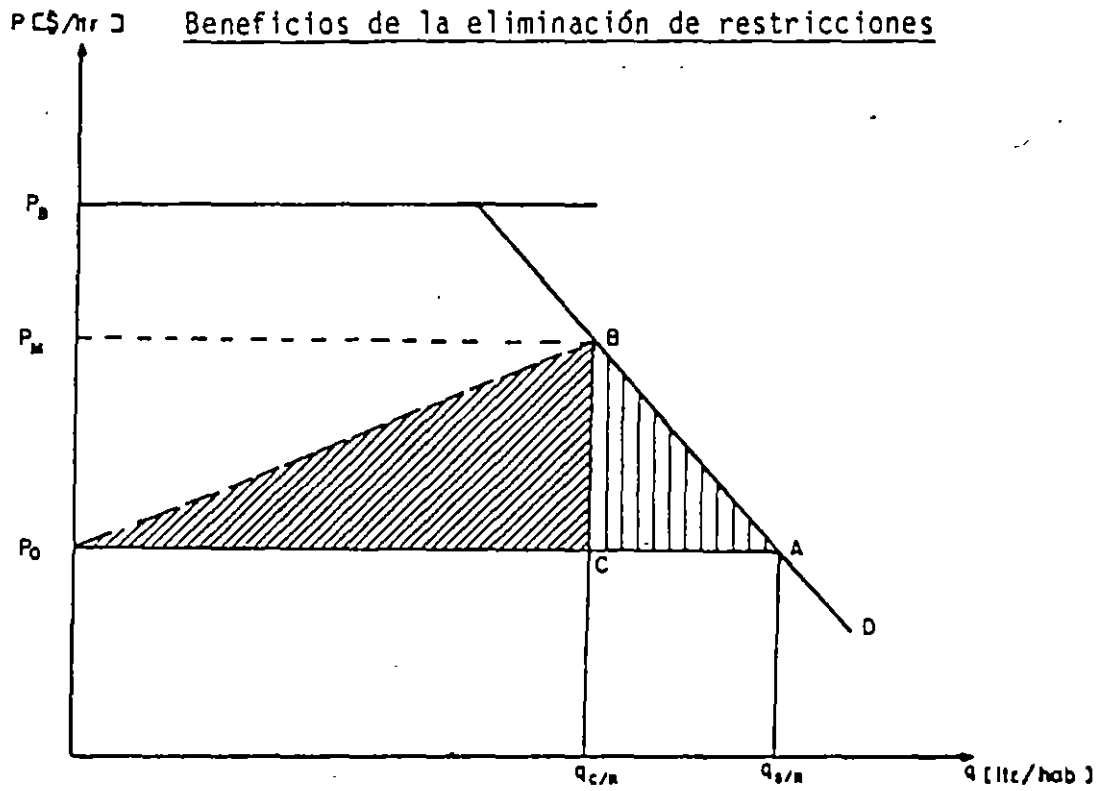




El consumidor con pozo negro que recibe agua por acarreo, se ubica en el punto A de la curva de demanda  $D_0$ , consumiendo 20 lts/hab-día. En esta situación el excedente del consumidor percibido es igual al área  $P_BAB$ . La construcción de la caseta sanitaria le permite trasladar su demanda a  $D_1$  y ubicarse en el punto C, percibiendo un excedente del consumidor igual al área  $P_1CB$ . El beneficio bruto del proyecto para el consumidor está dado por la diferencia de excedentes y es igual al área  $P_1CBAP_B$ . El beneficio neto se calcula restándole el costo equivalente de la red, de la conexión y de la caseta.

iii) Beneficios derivados de quitar la restricción de presión en el abastecimiento de agua potable: El caso se presenta en el Gráfico N° 4. Un consumidor que sufre restricciones de presión en el abastecimiento de agua en la situación sin proyecto, se ubica en un punto tal como B en su curva de demanda. Consume  $q_C/r$  unidades de agua y paga un precio  $P_M$  por la unidad marginal consumida. Dicho precio está formado por el cargo variable cobrado por SENDOS por el agua ( $P_0$ ) y por un monto adicional que refleja las molestias que sufre el consumidor al consumir agua con baja presión, las cuales son diferentes para los distintos usos del agua. El proyecto le permite trasladarse al punto A, con lo que aumenta su cantidad demandada desde  $q_C/r$  hasta  $q_S/r$ . Por ello obtiene un beneficio que se valora como el área bajo la curva de demanda entre esos dos puntos, menos el precio que él debe pagar por

Gráfico NQ 4



la cantidad adicional de agua (triángulo ABC). Además, el costo marginal del agua para el consumidor disminuye desde  $P_M$  hasta  $P_0$ , por lo que obtiene un beneficio de ahorro de recursos propios gastados para poder consumir  $q_C/r$  unidades en la situación sin proyecto (tiempo, molestias y estanques domiciliarios, fundamental-

mente). A falta de mejor información, se supone que la función costo marginal del agua para el consumidor es la recta  $P_0B$ , por lo que los beneficios por la reducción del costo marginal se valoran por el triángulo  $P_0CB$ .

C. Costos sociales

Los costos sociales de las obras consideradas en los proyectos, se presentan en el Cuadro N° 8, desglosados en inversiones y costos de operación.

Para su cálculo, se aplica la corrección sugerida por ODEPLAN para el precio social de la divisa a los bienes transables; y los premios definidos por ella misma para el uso de mano de obra semicalificada y no calificada.

D. Presentación y análisis de resultados

1. Proyecto Estanque

Al evaluar el proyecto Estanque se obtiene un VANS de \$68.077.000 y una tasa interna de retorno social de 43%. El Cuadro N° 9 muestra los principales resultados de este proyecto. En él se puede observar que los beneficios brutos acumulados superar alrededor de siete veces los costos totales del proyecto.

Cuadro Nº 8

Inversiones y costos de operación  
(en m\$ al 1.1.83)

Item	Inversión (m\$)	Costo de operación	
		Variables (\$/m )	Fijos (m\$/año)
1. Estanque elevado	5.637	0,15	185
2. Red agua potable	18.000	-	8
3. Red alcantarillado	12.596	-	8
4. Tratamiento en El Cabrito	4.868	0,47	102
5. Tratamiento en Lirquén	2.099	0,21	35
6. Disposición final	3.270	0,09	230
7. Caseta sanitaria	80 <sub>a/</sub>	-	-
8. Alternativa captación Coihueco	17.307	-	-
9. Filtro (captación Coihueco)	4.183	0,47	134
10. Alternativa impulsión Nonguén	25.571	0,40	6

FUENTE: Capítulo 7.

a/ Inversión por cada caseta.

Cuadro Nº 9  
Resultados de la evaluación  
del proyecto estanque  
 (en m \$ de enero 1983)

Valor actual de los beneficios	79.391
Valor actual de los costos	11.314
Valor actual neto social	68.077
Tasa interna de retorno social	43%

FUENTE: Capítulo 8, Cuadro Nº 8.3.

## 2. Proyecto Casetas

El Cuadro Nº 10 muestra los resultados de la evaluación de los proyectos de instalación de casetas sanitarias, en las tres alternativas de programación anual descritas en el acápite II.B.2, con y sin el proyecto Estanque. Se aprecia que el VAN es mayor con el estanque elevado en operación. La mayor cantidad de agua aportada al sistema por el estanque permite abastecer la mayor demanda provocada por la instalación de casetas, sin restringir el consumo de los otros grupos. En cambio, sin el estanque, el aumento de la demanda con casetas provoca un déficit y como resultado de él, de-

be disminuir el consumo de los restantes grupos de consumidores, obteniéndose por ello beneficios negativos que contrarrestan los percibidos por los consumidores beneficiados con las casetas sanitarias.

De las tres alternativas de programación anual evaluadas con estanque, la realizada entre los años 1985-1994, resultó ser la de mayor VAN, según se aprecia en el Cuadro Nº 10.

Cuadro Nº 10

Costos y beneficios de los proyectos  
de instalación de casetas sanitarias  
(en m\$ de enero 1983)

Proyecto casetas	Alternativas de programación anual		
	1985 - 1994	1985 - 1999	1985 - 2007
<u>1. Sin estanque</u>			
VABS	193.311	176.723	159.439
VACS	154.709	136.646	115.970
VABNS	38.602	40.077	43.469
TIRS	13%	14%	15%
<u>2. Con estanque</u>			
VABS	296.436	268.152	237.356
VACS	167.358	148.756	126.711
VABNS	129.078	119.396	110.645
TIRS	18%	18%	18%

FUENTE: Capítulo 8.

Estos resultados muestran que las casetas sanitarias son rentables tomando en consideración solamente sus efectos sobre la demanda de agua potable.

Cabe reiterar aquí que al evaluar los proyectos Casetas han quedado como intangibles los beneficios por ahorro de gastos en salud. Por lo tanto los resultados obtenidos subestiman el verdadero beneficio que estos proyectos ocasionan a la sociedad.

### 3. Proyecto regularización de redes y arranques

En el Cuadro N° 11 se muestran los principales resultados de la evaluación del proyecto regularización de redes y arranques.

Cuadro N° 11

Resultados de la evaluación del proyecto  
regularización de redes y arranques  
(en m\$ de enero, 1983)

Valor actual de los beneficios	67.666
Valor actual de los costos	13.498
Valor actual neto social	54.168
Tasa interna de retorno social	35,6%

FUENTE: Capítulo 8, Cuadro N° 8.5.

Los beneficios brutos totales del proyecto regularización superan cinco veces a los costos totales.

#### 4. Proyecto Calidad del agua potable

El valor actual del costo de este proyecto es \$ 8.703.000. en moneda de enero de 1983.

#### 5. Proyecto Disposición final de aguas servidas

El costo de este proyecto, expresado en valor actual es \$ 4.040.000.

#### 6. Proyecto fuentes de abastecimiento

El momento óptimo de inicio del proyecto Fuentes de abastecimiento de agua potable, que aporta un caudal incremental de 30 lts/seg, es el año 2003 tanto para las alternativas de ampliación del sistema Nonguén como para la captación en el estero Coihueco. En dicho año, y bajo el supuesto de que se han construido el estanque elevado y las casetas sanitarias en el programa a 10 años, la demanda máxima diaria a nivel de estanques alcanza a 162 lts/seg. El proyecto Fuentes de abastecimiento alcanza el máximo VANS al iniciarse en el año 2003.

#### 7. Evaluación privada

Conjuntamente con la evaluación social de los proyectos ya mencionados se realizó la evaluación privada, desde el punto de vista de SENDOS, de tres proyectos que son de interés. Sus resultados se muestran en el Cuadro Nº 12. De ellos se aprecia que los proyectos Estanque elevado y Regularización de redes presentan un



VAN privado negativo, en tanto que el proyecto casetas con estanque presenta un VAN privado positivo. Estos resultados indican que, dados los actuales niveles de consumo per capita, limitados por la inexistencia de infraestructura sanitaria que afecta a una parte importante de la población de Penco y Lirquén, los proyectos que aportan más agua al sistema, sin inducir aumentos de la demanda, generan beneficios por la venta del agua adicional que no son suficientes para pagar los costos de dichos proyectos.

Cuadro Nº 12

Resultados de evaluaciones privadas

Nombre del proyecto	VAN
Estanque elevado	- 1.596
Casetas con estanque (10 años)	7.838
Regularización de redes	- 2.459

FUENTE: Capítulo 8, Cuadro Nº 8.15.

## V. CONCLUSIONES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

### A. Conclusiones y recomendaciones

Las principales conclusiones que se desprenden del presente estudio son:

1) Tanto desde el punto de vista social, como desde el punto de vista privado de SENDOS, es conveniente realizar el proyecto de construcción de casetas sanitarias a 10 años, y simultáneamente con el inicio de dicho programa, construir un estanque elevado que permita resolver los problemas de cota que afectan a los habitantes de las zonas altas de Penco y Lirquén.

La conveniencia económica de este proyecto se traduce en un VAN social de 129 millones de pesos. Las inversiones privadas que se requieren ascienden a 37,4 millones de pesos en obras y 369 millones de pesos en un programa de casetas a 10 años.

2) En Penco y Lirquén no es conveniente iniciar la construcción de un proyecto de nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable antes del año 2003, de acuerdo a las proyecciones de demanda efectuadas.

3) El mejoramiento de la calidad del agua potable en Penco y Lirquén, en cuanto a sus niveles de turbiedad, se puede lograr con un proyecto cuyo costo social, en valor actual es de \$ 8.703.000 en moneda de enero de 1983. El costo privado de las inversiones asciende a 8,9 millones de pesos.

4) El mejoramiento de la disposición final de aguas servidas en Penco y Lirquén, en el sentido de no provocar contaminación en los esteros de Penco y Lirquén y en la playa de Penco, se puede lograr con un proyecto cuyo costo, en valor actual, es de \$ 4.040.000 en moneda de enero de 1983. El costo privado de las inversiones asciende a 3,8 millones de pesos.

5) Finalmente, se puede concluir conveniente realizar un estudio detallado de los consumos per capita reales al evaluar un proyecto de agua potable en cualquier localidad.

#### B. Limitaciones del estudio

Las principales limitaciones del presente estudio son:

i) Los datos estadísticos sobre consumo de agua potable presentan defectos como los siguientes:

a) No fue posible detectar la existencia de medidores en mal estado en la información de que se dispuso para realizar el presente estudio, lo que podría implicar algunas pequeñas distorsiones en los consumos per capita, la facturación para los medidores en mal estado se realiza de acuerdo al "término medio", es decir el promedio de los consumos medidos en los últimos meses.

b) La existencia de los arranques "racimo" podría provocar distorsiones en el cálculo de los consumos per capita. Hemos llamado arranques "racimo" a los casos en que, de un solo arranque domiciliario se abastecen varias viviendas. Las distorsiones provenientes de este defecto de la información se han minimizado a

través de una visita a terreno que permitió detectar prácticamente la totalidad de los arranques "racimo" y establecer el número de viviendas a que cada uno de ellos abastecía.

Estos defectos de la información se han presentado a pesar de la gran colaboración prestada por el SENDOS VIII Región, que nos permitió el acceso a los Roles de Facturación y a partir de ellos, procesar información del año 1982 a nivel de cada consumidor individual, agrupados por unidades vecinales.

2) La utilización de las encuestas CAS como indicador de estratificación socio-económica de la población presenta algunas limitaciones, principalmente en el sentido de que la muestra no asegura que los no encuestados pertenecen a la categoría "no pobres". Esta limitación se ve minimizada en el caso de Penco y Lirquén por el hecho que más del 80% de la población se encuentra estratificada en el CAS.

Cabe destacar aquí que el acceso a la información de las encuestas CAS, facilitado por la I. municipalidad de Penco, fue óptimo.

3) El presente estudio no considera los efectos de la estacionalidad sobre la oferta y demanda de agua potable. En el caso de la oferta, la omisión de la estacionalidad no es importante, puesto que los caudales aportados al sistema por las distintas fuentes están limitados por la capacidad de porteo de las respectivas aducciones. En el tratamiento de la estacionalidad de la demanda se plantean las posibles soluciones en el Anexo Nº 10.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**METODOLOGIAS DE EVALUACION Y PREPARACION DE  
PROYECTOS SECTORES PRODUCTIVOS**

**LIC. ROBERTO CORTEGOSO  
PALACIO DE MINERIA  
1995**

1

METODOLOGIAS DE EVALUACION Y PREPARACION DE  
PROYECTOS SECTORES PRODUCTIVOS

(BORRADOR PARA DISCUSION)

Roberto CORTEGOSO  
Consultor Proyecto  
EQG/87/001 DTCD-UN

I. METODOLOGIA DE EVALUACION

A. INTRODUCCION

En estas notas se desarrollan los aspectos más relevantes que se deben tener en cuenta en la evaluación de proyectos productivos para determinar su viabilidad económica.

Se analiza la metodología general aplicable a todo proyecto que involucre producción de bienes y servicios, para los cuales existen mercados que permiten estimar los costos y beneficios desde el punto de vista privado a través de los precios de mercado.

Con la inclusión de los precios sociales y de los efectos indirectos de los proyectos, al igual que las externalidades que se pueden producir, se realiza la evaluación desde el punto de vista social.

B. IDENTIFICACION DE BENEFICIOS Y COSTOS

La realización de un proyecto implica modificaciones en los mercados que interviene. En el mercado del bien que produce altera la oferta, mientras que en los mercados de sus insumos interviene como demandante.

Ello significa que en el mercado del bien normalmente se ofrecerá una mayor cantidad, lo cual puede hacer disminuir el precio del bien y la cantidad producida por los otros oferentes en el mercado.

En el mercado de los insumos la mayor demanda debida al proyecto puede significar una mayor cantidad vendida y un aumento del precio del insumo, lo que generalmente lleva a un menor consumo de los otros demandantes o usuarios del insumo.

Debido al proyecto, existirán dos tipos de beneficios. Uno por mayor disponibilidad del bien lo cual es aprovechado por los consumidores, y otro por mayor eficiencia en la producción del bien liberando recursos que pueden ser usados en otras actividades.

Por el lado de los costos, se observa un mayor uso de recursos económicos para la producción adicional de insumos, y también se debe computar el costo de oportunidad de aquellos recursos que se sacan de otros procesos productivos para ser utilizados en el proyecto.

C. MEDICION DE BENEFICIOS Y COSTOS

Una vez que se identifican los beneficios y costos asociados a cada alternativa de proyecto, deben cuantificarse en unidades objetivas.

tales como toneladas de producción, horas de mano de obra, kwh de energía consumida, número de usuarios, etc.

Para homogeneizar los valores de productos e insumos expresados en distintas unidades físicas, se utilizan los valores monetarios, precios, que permiten expresar el valor económico de los beneficios y costos en una misma unidad de cuenta, la unidad monetaria.

Las distintas formas de valorar los beneficios y costos están relacionadas con el punto de vista desde el cual se hace la evaluación.

Si la evaluación se hace desde el punto de vista privado, sólo se consideran los beneficios y costos que percibe y paga el dueño del proyecto o inversionista.

Los beneficios privados se obtienen al considerar los ingresos que se derivan de la venta del bien o servicio producido en el proyecto. Además deben considerarse como beneficios la venta de los activos reemplazados y el valor residual de los activos al fin de la vida útil del proyecto.

Los costos privados surgen de computar los recursos necesarios para la inversión y operación del proyecto valorados a los precios de mercado que paga el dueño del proyecto, incluyendo los impuestos que se pagan.

No interesa si el dueño del proyecto es a la vez propietario de algunos de los recursos a ser empleados en el proyecto. Aunque no sea necesario efectuar un desembolso, estos recursos tienen un costo económico de ser usados en el proyecto, el cual está representado por la mejor alternativa que tienen de ser usados fuera del proyecto.

Cuando la evaluación se hace desde el punto de vista social, es necesario valorar las cantidades vendidas por el proyecto a los precios sociales de esos bienes y servicios. Igualmente para los costos sociales se incluyen todos los recursos empleados en la inversión y operación del proyecto valorados a precios sociales.

Además la evaluación social incluye, cuando corresponde, los efectos indirectos, las externalidades y los efectos intangibles que provoca el proyecto.

#### D. HORIZONTE DE EVALUACION

El horizonte de evaluación es el período que define cuáles son los costos y beneficios que se incluyen en la evaluación. Para definir este período se debe tener en cuenta no sólo la vida útil de la inversión realizada e instalaciones, sino también el comportamiento temporal de los costos y beneficios y la incertidumbre que se pueda aceptar sobre las proyecciones realizadas.

La vida útil de la inversión incide en la definición del horizonte de evaluación porque en la mayoría de los proyectos la vida útil de las inversiones excede la duración de un ciclo productivo, el cual puede relacionarse con el proceso productivo desde la incorporación de los insumos variables hasta la obtención del producto del proyecto.

Existen procesos agrícolas, industriales, comerciales en los cuales ese ciclo productivo se puede definir en términos anuales. Al durar la inversión más de un año, es necesario definir cuál es el valor residual de dicha inversión al final del horizonte de evaluación.

Si se adopta el período de un año como horizonte de evaluación, se puede demostrar que la precisión de la estimación sobre el valor residual de la inversión al término de un año incide significativamente sobre la rentabilidad del proyecto.

Además se debe considerar que no es fácil para muchos bienes de capital estimar su valor residual en periodos menores a su vida útil, debido a la casi ausencia del mercado de usados.

El comportamiento temporal del flujo de beneficios y costos tiene su influencia sobre la determinación del horizonte de evaluación. Existen proyectos cuyo ciclo productivo no sólo excede del año sino que además sus costos y/o beneficios tienen un comportamiento no uniforme a través del tiempo.

A modo de ejemplo se pueden mencionar los proyectos forestales cuyos beneficios estan relacionados con el ciclo de crecimiento del volumen de madera obtenible y su calidad.

Este tipo de proyectos no puede encasillarse en horizontes de evaluación anuales por ejemplo. Inclusive ese comportamiento de los beneficios netos tiene relevancia para determinar cuál es el momento óptimo de cortar y vender la madera.

Por último el componente de incertidumbre implícito en las proyecciones realizadas, hace que cuánto más alejados en el tiempo se encuentran los beneficios y costos proyectados menos certeza se tiene sobre la validez de dichas proyecciones. Una forma de atenuar los efectos de la incertidumbre sobre la evaluación de proyectos consiste en no considerar en la evaluación aquellos costos y beneficios que ocurren más allá de cierto período.

Si bien es una arbitrariedad se sugiere considerar como horizonte de evaluación periodos que no superen los 20 a 25 años, salvo que las características del proyecto justifiquen un periodo mayor.

## II. METODOLOGIA DE PREPARACION

A continuación se presenta un esquema general para la preparación de un proyecto en los sectores productivos. La información necesaria para la evaluación de un proyecto puede sistematizarse en los siguientes capítulos;

- A. Antecedentes generales
- B. Estudio de mercado
- C. Situación actual
- D. Alternativas de proyecto



- E. Proyección de beneficios y costos
- F. Evaluación y cálculo de indicadores
- G. Presentación del proyecto.

## A. ANTECEDENTES GENERALES

En este capítulo deben presentarse la mayor cantidad de antecedentes relacionados con el proyecto y los aspectos económicos, geográficos, políticos y sociales que lo enmarcan.

Entre los antecedentes se pueden destacar los referidos a la población beneficiada por el proyecto, con sus atributos de cantidad y distribución por edad, sexo, ocupación, localización, ingreso y todas aquellas variables que puedan servir para identificar el mercado en el cual va a actuar el proyecto.

También se debe indicar la ubicación geográfica del proyecto, las características físicas de la región y la disponibilidad de recursos naturales y de infraestructura de servicios en el área del proyecto.

Otros antecedentes importantes son los legales e institucionales que pueden afectar las decisiones relativas al proyecto. Entre ellos se pueden mencionar las medidas de gobierno (planes sectoriales, promoción de actividades, etc), propiedad de los recursos naturales, sistemas de explotación vigentes, etc.

## B. ESTUDIO DE MERCADO

El objetivo principal del estudio de mercado es la estimación de la demanda futura que el proyecto enfrentará en el mercado en el cual va a actuar.

Esa información es fundamental para estimar los beneficios que se esperan obtener durante la vida del proyecto u horizonte de evaluación.

Para estimar la demanda dirigida al proyecto es necesario analizar la demanda y la oferta que existen actualmente en el mercado del bien o servicio y estimar su comportamiento futuro.

### B.1 ANALISIS DE LA DEMANDA

Lo que interesa determinar con el estudio de la demanda es cuáles son los factores que influyen sobre ella y mostrar si existe una necesidad que pueda ser satisfecha por el proyecto.

En primer lugar es necesario definir con precisión los bienes o servicios que el proyecto ha de producir. En esa definición se incluye la unidad de medida en que se expresa el producto del proyecto. Es conveniente que esa unidad se mantenga invariable en toda la información referida a las cantidades consumidas, producidas, exportadas, importadas, etc.

Para identificar cuáles son los factores que influyen sobre la demanda, es necesario especificar si se trata de bienes de consumo, bienes intermedios o bienes de capital. De acuerdo a la naturaleza del

bien es la orientación que se da al estudio de demanda.

Las características ya mencionadas en los antecedentes generales y su evolución representan las principales variables que influyen sobre la demanda de los bienes de consumo final. Además se debe contar con información sobre precios del bien y de bienes relacionados (sustitutos y complementarios).

En el caso de los bienes intermedios o de capital además interesa conocer cuáles son los principales sectores usuarios del producto del proyecto. En este caso la demanda recibe el nombre de demanda derivada, ya que depende de las variables que actúan en el mercado de los bienes que usan ese insumo, junto con las relaciones técnicas de producción entre el bien y el insumo provisto por el proyecto. También se deben conocer los bienes sustitutos y complementarios en esos procesos productivos.

Un ejemplo es la demanda de cemento. Para poder estimarla se puede recurrir a los mercados usuarios de cemento y ver de qué variables dependen esas demandas. Un sector usuario es la construcción de viviendas, la cual se encuentra influenciada por el crecimiento poblacional, nivel de ingreso de la población, déficit de viviendas, antigüedad de las viviendas existentes, etc. Otro sector demandante de cemento es la obra pública, cuyo nivel de gasto está relacionado con el presupuesto del gobierno, proyectos en construcción, obsolescencia de la infraestructura, etc.

En los bienes de capital, también llamados bienes de consumo durable, además de la demanda de nuevos usuarios, es necesario conocer la demanda de reposición. Esta está relacionada con la edad o vejez de los bienes actualmente en uso, con lo que se puede estimar la vida útil remanente.

Otra característica que se debe conocer es la estacionalidad de la demanda. La estacionalidad de la demanda puede deberse a razones climáticas o hábitos de consumo. Este factor afecta decisiones del proyecto referidas a su capacidad de procesamiento y almacenamiento de productos e insumos.

Además de la definición precisa del producto del proyecto y de los bienes relacionados, es necesario determinar el tamaño del mercado en el cual va a actuar el proyecto.

Un proyecto pequeño puede ser pensado en términos de un mercado estrictamente local, mientras que si su tamaño es relativamente grande para el mercado local, puede decidirse la orientación hacia un mercado regional, nacional o internacional.

Una vez definido el tamaño del mercado es necesario identificar el valor de las variables pertinentes que puedan influir sobre la demanda del producto, conforme se ha mencionado anteriormente.

Si bien no existen métodos infalibles para proyectar qué ocurrirá con la demanda en el futuro, a través del pronóstico de las variables que influyen sobre la demanda y del conocimiento de esta relación, es posible estimar cuál ha de ser la demanda futura en el

mercado que actuará el proyecto.

En la medida que las proyecciones de esas variables se obtienen de fuentes ajenas al proyecto, se amplía el caudal de información que sirve de base a las proyecciones, lo que se aumenta el grado de objetividad de las estimaciones.

Entre los métodos más usados para hacer proyecciones se pueden mencionar la tendencia histórica, coeficientes técnicos y análisis de regresión. Los métodos de proyección difieren en su grado de complejidad y confiabilidad. La elección de uno u otro está muy relacionada con la disponibilidad de información básica.

## B.2 ANALISIS DE LA OFERTA

Al considerar las condiciones en que se desenvuelve la oferta actual y estimar cuál ha de ser su comportamiento futuro, existen multiplicidad de factores que influyen, muchos de los cuales no dependen de las decisiones que se toman en el proyecto, sino de otros elementos o decisiones empresarias ajenas cuyo comportamiento futuro es difícil de estimar.

Entre esos factores se pueden mencionar la tecnología usada por los oferentes actuales en el mercado, antigüedad de equipos, costos, cambios tecnológicos en los procesos productivos, sistema legal, etc.

Sin embargo existen ciertos aspectos básicos a incluir en el estudio de la oferta actual y su proyección.

Un aspecto importante es la estructura de la oferta, en la cual se mira básicamente el número de oferentes en el mercado y su tamaño relativo. La estructura puede variar desde muy competitiva (mercados agrícolas) hasta la existencia de un sólo vendedor u oferente en el mercado (monopolio). Esta última estructura puede deberse a la propiedad exclusiva de un bien o recurso o a una regulación del gobierno que impide el acceso al mercado a otros oferentes (servicios tales como electricidad, teléfonos, etc).

Al igual que en el estudio de demanda, debe analizarse si la oferta actual y/o futura es interna o externa o una combinación de ambas.

Al analizar el comportamiento pasado de la oferta se deben aislar los factores que influyen sobre ella. Las principales variables son el precio del bien, precio de insumos, tecnología, accidentes climáticos, plagas, etc.

También se debe analizar la existencia de capacidad ociosa de los oferentes actuales, lo cual incide significativamente sobre su capacidad de reacción ante la presencia del proyecto en el mercado o cambios en las condiciones de la demanda.

Otro elemento importante para la proyección son los planes de expansión de los oferentes actuales, al igual que la existencia de proyectos competidores.

La oferta futura se proyecta usando los mismos métodos que se mencionaron para proyectar la demanda.

Con las proyecciones de la demanda y de la oferta existente, se puede determinar la posibilidad de participación del proyecto en el mercado, información que a su vez es utilizada en la definición del tamaño del proyecto.

### C. SITUACION ACTUAL

A partir del análisis de los antecedentes del proyecto y de las proyecciones de demanda y oferta se puede identificar la necesidad a satisfacer por el proyecto y las alternativas para lograrlo.

Una alternativa para satisfacer la necesidad puede ser la optimización de la situación sin proyecto. A través de modificaciones de aspectos administrativos, legales o de inversiones de carácter marginal se puede satisfacer, total o parcialmente, la necesidad insatisfecha, por lo que se modifican los beneficios y costos esperados del proyecto.

Por ejemplo si existe una restricción legal a la entrada de nuevos productores al mercado y la modificación o eliminación de esa norma legal es factible, legal y económicamente, el proyecto se debe comparar con la nueva situación sin proyecto.

A partir de esa situación optimizada sin proyecto, se debe analizar que ocurre cuando se incorpora el proyecto.

### D. ALTERNATIVAS DE PROYECTO

Generalmente existe más de una solución para producir el bien o servicio del proyecto.

Cada una de esas soluciones puede tener a su vez varias alternativas, por lo que se hace necesario analizar el grado de viabilidad técnica de las alternativas planteadas.

Un proyecto de transporte de cargas admite muy diversas soluciones técnicas, cada una con sus propias características en cuanto a capacidad, velocidad, seguridad, etc. Puede ocurrir que alguna de ellas al enfrentarse al mercado y sus condiciones ambientales no sea factible, por ejemplo por la calidad y ancho de los caminos.

Otro motivo técnico de rechazo de una alternativa puede ser la no disponibilidad de un insumo en el área del proyecto.

Es en esta etapa del estudio en la cual se preseleccionan las alternativas técnicamente viables, evitando de esta forma hacer la evaluación económica de aquellas alternativas que no son viables.

En la definición de la viabilidad técnica interviene en muchas oportunidades el análisis económico el cual a partir de ciertos valores básicos permite descartar algunas alternativas, por ejemplo a través del tamaño del mercado.

El Estudio Técnico del proyecto debe incluir todas las alternativas preseleccionadas para la evaluación económica.

Las alternativas que usualmente considera el estudio técnico se refieren a:

- 1) Tamaño del proyecto
- 2) Proceso técnico
- 3) Localización del proyecto
- 4) Obras físicas

Como se verá estas alternativas pueden estar relacionadas entre si de tal forma que el número aparentemente alto de combinaciones que se pueden dar se reduce en forma significativa.

#### D.1 TAMANO DEL PROYECTO

Una forma de medir el tamaño del proyecto es a través de su capacidad de producción, medida en unidades de producto, en un determinado período (ej. un año).

El estudio del mercado permiten acotar el tamaño del proyecto. Entre las decisiones a comparar pueden mencionarse un proyecto con capacidad ociosa al comienzo que luego puede hacer frente al aumento del consumo a través del tiempo. Otra alternativa a contemplar es una capacidad inicial más ajustada al tamaño actual del mercado complementada con ampliaciones futuras. Si ambas alternativas son factibles técnicamente, debe hacerse una evaluación económica para seleccionar la alternativa más conveniente.

Otras opciones en cuanto al tamaño son la posibilidad de instalar una sola fábrica grande o varias pequeñas distribuidas en el área del proyecto.

La comparación entre ambas alternativas enfrentará básicamente la diferencia en costos de transporte favorable a las fábricas pequeñas versus los menores costos de producción de la fábrica grande.

En la presentación del proyecto debe incluirse una síntesis donde se compatibilice el tamaño del proyecto con los resultados del estudio de mercado y el análisis de las otras alternativas del estudio técnico que influyen sobre el tamaño del proyecto.

#### D.2 PROCESO TECNICO

El proceso técnico de producción define cómo se combinan los distintos insumos para obtener el producto. Puede existir más de un proceso técnico para obtener un mismo producto, y la elección implica una evaluación económica.

Los principales factores que influyen sobre la elección del proceso técnico son la naturaleza del producto (perecedero, niveles de calidad requeridos), la disponibilidad en tiempo, calidad y cantidad de insumos, precios de insumos, disponibilidad de mano de obra calificada para el proceso, disposiciones legales (laborales, seguridad industrial, contaminación), etc.

Una vez que se elige el proceso técnico de producción, debe

realizarse una descripción completa tanto del proceso en sí como de los equipos, instalaciones, servicios, insumos, mano de obra, para el proceso productivo y para los servicios (energía, agua, transporte, disposición de residuos, almacenes). Se deben definir los procesos de elaboración y las relaciones entre ellos.

Para el cálculo de los costos del proyecto, se deben identificar las cantidades de cada uno de los equipos a utilizar, al igual que su capacidad de procesamiento, calidad, vida útil, origen (nacional o importado), precio e impuestos.

En los requerimientos de materia prima y materiales debe identificarse cantidad por unidad de producto o de tiempo, calidad, costo unitario, origen.

En cuanto al personal debe discriminarse por tipo de tareas (producción, servicios, administrativo) y por nivel de calificación laboral.

Al igual como se hace con el tamaño del proyecto, la decisión del proceso técnico elegido debe compatibilizarse con las decisiones sobre las otras características de las alternativas (localización, disponibilidad de insumos, obras físicas).

#### D.3 LOCALIZACION DEL PROYECTO

Una primera decisión está referida a la zona o región donde se instalará el proyecto. Sobre este punto tiene particular relevancia el tipo de proyecto. Hay proyectos en los cuales la localización regional del proyecto es prácticamente un dato. Son aquellos proyectos vinculados a la explotación de un recurso natural tales como un proyecto minero, agrícola, forestal, etc. Sin embargo aún en estos proyectos se pueden plantear alternativas de localización para partes del proyecto.

Un ejemplo se puede ver en un proyecto minero de extracción y tratamiento del mineral. La extracción obviamente se debe realizar donde se encuentra el yacimiento, mientras que la planta de tratamiento debe localizarse en función del costo de transporte de mineral virgen versus procesado, disponibilidad de insumos y servicios específicos del tratamiento, etc.

Los principales factores que influyen sobre la localización de un proyecto son: a) Disponibilidad de insumos; b) Disponibilidad y costo de medios de transporte y c) Localización del mercado consumidor.

Esos factores interactúan y condicionan la localización del proyecto, al igual que otros factores que pueden ser específicos de ciertos proyectos, tales como disposiciones ambientales, acceso a servicio técnico, etc.

#### D.4 OBRAS FISICAS

Por obras físicas se entiende la construcción de edificios, talleres, depósitos, accesos, conexiones a servicios, viviendas, y otras obras complementarias del proyecto.

Los factores ya analizados de tamaño, proceso técnico y localización influyen sobre las obras físicas a realizar.

Una vez decidido el tipo y diseño, debe hacerse una descripción de las obras físicas que permita la identificación de cada componente, su costo y la evolución temporal de la construcción (curva de inversión cronológica).

Además para la evaluación económica es necesario un detalle de los materiales de construcción, equipos y calificación de la mano de obra requerida. Para los insumos físicos también deberá indicarse el origen de los mismos (nacional o importado) para considerarlo en la evaluación del proyecto.

#### E. PROYECCION DE BENEFICIOS Y COSTOS

Dado que los costos y beneficios de un proyecto no ocurren todos en un mismo instante, es necesario identificar el momento en el cual se perciben los beneficios del proyecto y el momento en que se incurre en los costos.

Con esa información se puede formar, para cada alternativa que se haya seleccionado, el flujo de beneficios y costos que se estima ocurrirán durante la vida del proyecto.

El tiempo debe dividirse en períodos que permitan diferenciar los distintos momentos en que se producen los diferentes costos y beneficios. Para algunos proyectos es suficiente que se consideren períodos anuales, mientras que en otros, tales como cultivos anuales es necesario considerar períodos de menor longitud (por ej. meses) para diferenciar los momentos de ocurrencia de beneficios y costos.

En un proyecto agrícola anual los costos de siembra ocurren al inicio del ciclo agrícola, mientras que los gastos de cosecha y el producido de la venta se obtiene después de finalizar el período de producción.

El momento inicial, al cual se deben referir todos los valores actualizados de beneficios y costos, corresponderá al comienzo del año en el cual se inician las inversiones del proyecto.

#### F. EVALUACION Y CALCULO DE INDICADORES

Una vez definidos y cuantificados los beneficios y costos del proyecto, se puede armar el flujo de beneficios netos ubicando sus valores en los distintos momentos del horizonte de evaluación en que ocurren.

##### F.1 CRITERIOS DE RENTABILIDAD

Existen diversos criterios para medir la rentabilidad de un proyecto y para tomar la decisión de aceptarlo o rechazarlo desde el punto de vista económico.

Entre ellos los más usados son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la relación Beneficio Costo (B/C) y la

relación del Van con la inversión inicial (IVAN).

El VAN presenta ventajas respecto a los otros indicadores, por lo que se recomienda su uso preferencial en la evaluación de proyectos.

El VAN es el valor actualizado de los beneficios netos de un proyecto obtenidos durante todo el horizonte de evaluación, expresado en unidades monetarias. En rigor el VAN mide en cuánto aumenta la riqueza neta, a nivel privado o social, por el hecho de llevar a cabo un proyecto rentable (VAN positivo). Si este no lo fuese, el VAN indica cuánto más pobre se queda por el hecho de que, a pesar de todo, se llevase a cabo el proyecto (VAN negativo).

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = \frac{(B_0 - C_0)}{(1+r)^0} + \frac{(B_1 - C_1)}{(1+r)^1} + \dots + \frac{(B_n - C_n)}{(1+r)^n}$$

Donde:  $B_t$  y  $C_t$  son los beneficios y costos del momento  $t$   
 $n$  es el horizonte de evaluación del proyecto  
 $r$  es la tasa de descuento

En esta fórmula se supone por razones de simplicidad que la tasa de descuento es constante durante todo el horizonte de evaluación.

La TIR es aquella tasa de descuento que hace igual a cero el Valor Actual Neto del proyecto. Si la TIR fuese mayor que la tasa de descuento que enfrenta el inversor, entonces el proyecto es rentable. Esto es equivalente a haber calculado el VAN a esa tasa de descuento y obtener un valor positivo.

Por el contrario si la TIR es menor que la tasa de descuento que enfrenta el inversor, el proyecto es no rentable. El VAN calculado a esa tasa de descuento es negativo.

La relación Beneficio Costo (B/C) es el cociente entre el valor actualizado de los beneficios y el valor actualizado de los costos. Si el valor de la relación es mayor que 1, el proyecto es rentable. Eso significa que el valor actual de los beneficios es mayor que el valor actual de los costos, o lo que es lo mismo, el VAN es positivo.

Una relación B/C menor que 1 implica que el valor actual de los beneficios es menor que el valor actual de los costos, por lo cual el VAN es negativo.

El IVAN es el cociente entre el VAN y el valor actual de la inversión en el proyecto.

$$IVAN = \frac{VAN}{I_0}$$

Donde  $I_0$  es el valor actualizado de la inversión en el



proyecto.

El IVAN se calcula sólo para los proyectos rentables (VAN positivo). De dos proyectos con IVAN distintos, será más deseable aquel proyecto con mayor IVAN.

Los tres primeros indicadores permiten definir la aceptación o rechazo de un proyecto.

El IVAN es un indicador útil para priorizar proyectos. Cuando existen restricciones presupuestarias que impiden llevar a cabo todos los proyectos rentables, entonces es necesario escoger los mejores proyectos para así maximizar la riqueza, dadas las restricciones presupuestarias.

En determinadas circunstancias es necesario recurrir a un indicador llamado Valor Actual de los Costos (VAC), el cuál se define:

$$VAC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = \frac{C_0}{(1+r)^0} + \frac{C_1}{(1+r)^1} + \dots + \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

Este indicador se usa para evaluar aquellos proyectos que se van a hacer de todas maneras. Un ejemplo puede ser por motivos de defensa nacional, por razones políticas o porque es difícil la cuantificación de los beneficios.

En esos casos lo lógico es analizar distintas alternativas de tal forma que se escoja aquella con menor VAC, el cual incluye los costos de inversión y de operación.

Lo anterior es sinónimo a alcanzar el objetivo planteado al menor costo posible, sin perder calidad. Ello significa presuponer que cada una de las alternativas analizadas alcanza idéntico nivel de Valor Actual de Beneficios, pero teniendo cada una de ellas diferentes costos.

El VAC es especialmente útil ante proyectos provenientes de sectores sociales (sanidad y educación) y también para comparar económicamente alternativas técnicas que proveen un mismo nivel de servicio (beneficios) como es el caso de proyectos de infraestructura o de sectores productivos.

## F.2 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Este análisis consiste en determinar como reaccionan los indicadores de rentabilidad de un proyecto ante cambio de algunas de las variables utilizadas para cuantificar el flujo de beneficios netos.

Por ejemplo se puede analizar como reacciona el VAN ante cambios en el precio del producto. En este caso se sensibiliza el proyecto ante el cambio de una variable.

Otro análisis consiste en observar el comportamiento del indicador de rentabilidad ante cambios en dos variables. Los

resultados que se obtienen se pueden ver en una matriz de doble entrada que permite identificar aquellas combinaciones de valores de las variables para las cuales se obtiene un determinado valor del indicador de rentabilidad.

Por ejemplo puede interesar para qué combinaciones de precio del producto y margen de comercialización se obtiene el mismo valor de VAN.

Estos resultados deben analizarse juntamente con la información sobre el margen de variación de las variables consideradas, margen que se puede obtener de datos técnicos, información de mercado u otras fuentes.

En este análisis se combina la información del flujo de beneficios netos del proyecto con datos exógenos, lo cual permite determinar la magnitud relativa de las zonas de aceptación o rechazo del proyecto.

Si el análisis se pretende realizar para más de dos variables es aconsejable utilizar modelos de simulación que seleccionan los valores de las variables de acuerdo a criterios preestablecidos, determinísticos o aleatorios, y se obtiene como resultado principal el valor esperado del indicador de rentabilidad y su distribución de frecuencia.

La profundidad del análisis de sensibilidad debe considerar la disponibilidad y calidad de la información utilizada, además del estado de avance del proyecto en su ciclo de preparación y evaluación.

El criterio para seleccionar esas variables puede ser la confiabilidad de las estimaciones de su valor. Un indicador estadístico que suele usarse es el coeficiente de variación (CV) que relaciona la dispersión de la variable con su valor medio.

Para medir la sensibilidad del indicador de rentabilidad ante cambio en una variable se puede usar el concepto de elasticidad. La elasticidad del VAN ante cambios porcentuales de una variable  $x$  se define como:

$$E_{van,x} = \frac{\Delta van/van}{\Delta x/x}$$

La elasticidad del VAN mide el cambio porcentual del VAN ante un cambio del 1% en el valor de la variable  $x$ .

Al combinar los resultados obtenidos en el cálculo de la elasticidad del VAN ante cambios en distintas variables con su respectivo Coeficiente de Variación (CV) se pueden definir las variables críticas del proyecto, o sea aquellas que más pueden afectar los resultados de la evaluación.

Esas variables críticas del proyecto justifican asignar recursos adicionales para aumentar el grado de precisión de su estimación, ya sea por la realización de estudios más profundos o por la

transferencia del riesgo a terceros.

#### G. PRESENTACION DEL PROYECTO

En la presentación del estudio se debe incluir un capítulo de "Resumen y Conclusiones" que incluya los aspectos más relevantes del trabajo, de modo que se pueda entender todo el proyecto, el problema que se pretende solucionar y los resultados y recomendaciones del estudio.

## APENDICE

### EVALUACION DE PROYECTOS Y RECURSOS NATURALES

#### RECURSOS FUGITIVOS Y DERECHO DE PROPIEDAD

Existen recursos naturales cuya propiedad no está definida, de forma tal que nadie tiene derecho a usar o consumir el recurso natural a menos que lo capture. Entre este tipo de recursos se pueden citar los recursos pesca, caza, petróleo, agua subterránea, forestal, etc.

Estos recursos reciben el nombre de recursos fugitivos. La diferencia con los bienes públicos consiste en que el consumo del recurso fugitivo por parte de una persona excluye el consumo por otras.

Como se puede apreciar los recursos fugitivos son libres para quien lo explota o captura, al no definirse el derecho de propiedad.

Además desde el punto de vista individual el stock de recursos existente no tiene ningún valor para quien lo explota. Esto se debe a que para disponer del bien es necesario capturarlo y mientras no lo capture ese recurso puede ser extraído por otros.

Si quien realiza la extracción o captura pudiese acceder a un derecho de propiedad del recurso, el inventario existente tiene un costo de oportunidad distinto de cero para la decisión de cuánto extraer.

Ese costo de oportunidad se debe a la relación que existe entre el costo de extraer el recurso natural y el stock existente.

#### AGUA SUBTERRANEA

En el caso del agua subterránea si se mantiene un equilibrio hídrico de tal forma que la extracción de agua es igual al ingreso de agua al acuífero, depósito subterráneo, el costo de extraer una unidad de agua adicional es constante porque el stock permanece a igual profundidad.

En cambio si la extracción es mayor que el ingreso de agua al acuífero se producirá un descenso del nivel del agua subterránea, con lo cual aumentan los costos de extracción no sólo para el usuario individual sino para los otros usuarios del acuífero.

Esa diferencia lleva a que el costo privado de extraer una unidad adicional de agua sea menor que el costo social que implica la mayor asignación de recursos para extraer esa unidad de agua.

El agua subterránea es un bien fugitivo. No pertenece claramente a nadie. Al existir varias perforaciones extrayendo agua de un mismo acuífero se producen diferencias entre el nivel óptimo de extracción para el individuo y para el conjunto de la sociedad.

#### RECURSO PESQUERO

Un caso similar se produce con el recurso pesquero. Suelen

existir aspectos biológicos que permiten relacionar el nivel de la captura con la disponibilidad del recurso ictícola.

En el caso de peces no migratorios donde cada área puede tratarse en forma independiente, el análisis económico de este recurso natural es similar al del agua subterránea.

La relación entre el nivel de extracción y la población de peces puede darse a través de relaciones biológicas, donde el crecimiento de la población depende del stock existente.

Si la pesca excede el crecimiento biológico se produce una disminución del stock existente, lo cual hace aumentar el esfuerzo de pesca, medido a través de la mayor cantidad de recursos que es necesaria para obtener el mismo nivel de pesca. Con una menor población ictícola se deben recorrer mayores distancias para lograr el mismo nivel de pesca.

Si se mide la cantidad de recursos asignados a la pesca por el número de botes pescando, se puede analizar cuál es el número óptimo de botes desde el punto de vista de la comunidad.

Cada bote adicional que se agrega implica asignar más recursos a la explotación pesquera. Por razones de simplicidad se puede suponer que los costos adicionales de incorporar un bote son iguales para todos los botes.

Sin embargo desde el punto de vista de la pesca se produce una situación diferente. A partir del nivel que la captura excede el crecimiento de la población de peces, por cada bote adicional que agrega se obtiene cada vez menos pesca.

Pero también se produce un efecto económico importante debido al carácter de bien fugitivo que tiene el recurso pesquero. Dada la relación entre la captura y el stock decreciente de la población, la captura total, de todos los pescadores, crece menos que la captura del bote adicional.

Ese bote captura no sólo peces adicionales sino peces que otros dejan de pescar por su presencia. El pescador adicional desde el punto de vista privado se guía por su captura para decidir cuántos recursos destinar a la pesca, mientras que la sociedad obtiene, por esa misma cantidad de recursos, una cantidad adicional de peces menor que la que trae ese bote.

Esa diferencia lleva a que al no estar definido el derecho de propiedad sobre el recurso pesquero, los incentivos privados lleven a una sobre-explotación económica del recurso disponible.

Si se logra definir ese derecho de propiedad, quien explote el recurso tendrá en cuenta el efecto que produce sobre la captura total la incorporación de nuevos botes.

Esa definición puede realizarse a través del otorgamiento de una concesión de explotación del recurso pesquero. Esa concesión genera una renta a quien la obtiene, la que se mide por el beneficio neto

máximo que se produce en el nivel de pesca para el cual el valor de la captura adicional se iguala con el costo del bote adicional que se incorpora.

Esa renta tiene importancia para el país que otorga la concesión, pues define el nivel máximo que se puede cobrar por la licencia al pescador, ya que si la licencia se fija por debajo de ese nivel el pescador continúa obteniendo un beneficio, es decir el proyecto pesca continúa siendo rentable para él.

En el caso de peces migratorios desaparece la relación entre la población ictícola en un área determinada y el nivel de captura. En este caso la relación se puede mantener pero a un nivel más agregado y la licencia otorgada por un determinado país sólo asegura al pescador la exclusividad de pesca en el área concedida, pero el recurso ictícola continúa siendo un recurso fugitivo.

### RECURSO FORESTAL

En la explotación de los recursos forestales se puede definir el derecho de propiedad sobre el recurso mediante el otorgamiento de licencias sobre áreas definidas.

En este recurso se presentan varias relaciones que es necesario considerar. Al igual que en el recurso pesca la tasa de extracción (volumen de madera por año) está relacionada con la tasa de crecimiento del bosque en unidades de madera. Esta última se compone de dos partes: la tasa de crecimiento natural y la reforestación por parte del hombre.

La conservación del stock del bosque exige que la extracción sea igual a la tasa de crecimiento natural más la reforestación. Si la corta de madera supera a la tasa de crecimiento natural del bosque, se exige al concesionario el replante que permita mantener el stock constante.

Este punto de vista es puramente técnico o físico, sin entrar en consideraciones económicas. El análisis económico de la tasa óptima de extracción tiene en cuenta los costos y beneficios adicionales debido a cambios de las tasas de extracción y de replante.

En esta decisión, además de las tasas de crecimiento y de extracción, se considera el valor de la madera extraída y los costos adicionales de extracción y de replante actuales y futuros.

En la explotación económica interesa la mayor valoración de bienes y servicios hoy y en el futuro, incluyendo en esa decisión el valor del stock del recurso natural.

### RECURSO SUELO

La propiedad de la tierra debe estar definida de tal forma que existan incentivos privados para la asignación de recursos sobre la tierra (costos) al poder disponer de la producción a obtener en el futuro (beneficios).

La conservación del recurso forma parte de las decisiones económicas del propietario, ya que una sobre-explotación implica aumentar los costos futuros de explotación o, en el peor de los casos, hacer imposible la actividad.

En la medida que ese derecho de propiedad no está definido, no existen incentivos desde el punto de vista privado para asignar recursos adicionales ni tampoco para conservar el recurso.

En este caso el recurso suelo y sus frutos toman el carácter de recursos fugitivos, lo cual lleva a una sobre-explotación del recurso desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto.

Como se puede apreciar el análisis económico de los recursos fugitivos se relaciona profundamente con la indefinición del derecho de propiedad sobre el recurso natural y en consecuencia sobre sus frutos, presentes y futuros.

Puede corregirse la sobre-explotación de los recursos naturales de tal forma que la actividad privada internalice los costos y beneficios que ocasionan a la sociedad sus decisiones de explotación.

Estas consideraciones revisten particular importancia para aquellos países con dotación de recursos naturales fugitivos y con escasa capacidad de inversión propia para su aprovechamiento.

En estos casos el enfoque social en las decisiones de definición del derecho de propiedad y de concesiones de explotación permite compatibilizar los incentivos privados y los de la sociedad para la explotación de los recursos naturales.

METODOLOGIAS DE EVALUACION Y PREPARACION DE  
PROYECTOS DE CAMINOS

(BORRADOR PARA DISCUSION)

Roberto CORTEGOSO  
Consultor Proyecto  
EQG/87/001 DTCD-UN

I. METODOLOGIA DE EVALUACION

A. INTRODUCCION

Esta metodología se puede aplicar a proyectos de inversión en caminos rurales o interurbanos que aumenten la capacidad vehicular de un camino o mejoren el camino, ya sea por medio de un nuevo trazado o cambio o mantenimiento de la superficie de rodado.

Entre estos proyectos se pueden mencionar la pavimentación de un camino de tierra, la repavimentación, el bacheo o retape de hoyos, reparación de losas de hormigón, sellado de juntas, colocación de la base de grava, conservación de puentes, etc. y cualquier combinación de ellos.

Esta metodología supone que ya existe un camino que brinda un servicio caminero de una determinada calidad. Si se trata de un camino nuevo la naturaleza de los beneficios es distinta ya que prestará un servicio que antes no existía. En este caso el camino es un componente de un proyecto mayor que lo incluye y como tal debe ser evaluado. Como ejemplo se puede mencionar un camino que permite el acceso a un yacimiento minero o a una explotación forestal.

B. IDENTIFICACION DE BENEFICIOS Y COSTOS

1. BENEFICIOS

Los beneficios que generalmente se presentan en este tipo de proyectos son los siguientes:

1) Ahorro en costos de operación y mantenimiento de los vehículos (combustible, lubricantes, neumáticos, reparaciones, mantenimiento)

2) Ahorro en tiempo de viaje de los usuarios, ya sea por mayor velocidad o por reducción de los recorridos

3) Ahorro en costos de mantenimiento del camino en relación a la situación sin proyecto

4) Aumento del número de usuarios

Otros beneficios que pueden generar estos proyectos están referidos a la mayor seguridad y comodidad de viaje que implican.

Como se puede apreciar, la definición de los beneficios del proyecto implica comparar la situación sin proyecto frente a la situación con proyecto. Por un lado los beneficios del proyecto se miden por los diferentes ahorros de recursos que se producen. Si



aumenta el número de usuarios es necesario determinar el valor que se asigna a ese mayor número de viajes.

Para considerar la situación sin proyecto es necesario observar las decisiones de los usuarios del sistema vial. Desde el punto de vista económico el servicio de transporte es un bien y como tal tiene su demanda.

El costo en que incurren los usuarios de un determinado tramo del camino entre el origen y el destino final del viaje, recibe el nombre de costo generalizado de viaje. Este costo mide todos los costos del viaje para el usuario que se pueden resumir en dos clases: 1) Costos operativos y de mantenimiento de los vehículos y 2) Costo del tiempo de viaje. Además, como ya se mencionó, las características del camino implican un determinado nivel de seguridad y de comodidad.

Si el vehículo no es propio, los primeros costos se pueden reemplazar por el costo de alquiler del vehículo o la tarifa del viaje.

El proyecto de inversión en el camino permite reducir todos o algunos de los componentes del costo generalizado de viaje, o sea que permite liberar recursos que pueden ser usados en sus mejores alternativas (costo de oportunidad).

Puede ocurrir que, dado el nuevo y menor costo generalizado de viaje, el tránsito en ese tramo del camino permanezca igual o aumente debido al desvío de tránsito desde caminos alternativos o a la creación de nuevo tránsito porque los usuarios se deciden a aumentar el número de viajes.

Además de estos efectos sobre el costo generalizado de viaje, un proyecto caminero puede ser complementario de proyectos agrícolas, forestales, industriales, etc., al permitir que su producción acceda a los mercados.

Si ello resultaba imposible antes del proyecto caminero, éste debe tratarse en forma conjunta con los proyectos productivos para determinar su viabilidad económica, ya que el proyecto productivo podría ser rechazado de no existir el camino mejorado. Inclusive puede ocurrir que ambos proyectos, agrícola y camino, sean individualmente no rentables y si lo sea el proyecto conjunto.

A modo de ejemplo si la mejora del camino permite la salida al mercado de producción agrícola que antes se perdía, el valor de la producción es un beneficio del proyecto camino, dado su uso alternativo (pérdida). De ese valor de la producción deben deducirse los costos adicionales en que se incurre para poner la producción en el mercado (cosecha, acopio, etc.), ya que en la situación sin proyecto no se incurría en ellos.

## 2. COSTOS

Los principales costos de un proyecto de camino son los costos iniciales de inversión (construcción, reparación, etc) y los costos de mantenimiento.

Al igual que en otros proyectos pueden existir alternativas de combinación entre los costos de inversión y los costos de mantenimiento que permitan brindar un servicio de calidad similar. Un camino de hormigón tiene costos de inversión inicial más altos que uno de asfalto, pero se da la situación inversa en los costos de mantenimiento.

La elección entre una y otra alternativa depende del nivel de la tasa de descuento que enfrenta el tomador de la decisión. Cuanto mayor sea la tasa de descuento mejorará la posición relativa del camino de asfalto al disminuir la importancia de su mayor costo de mantenimiento futuro.

Si se opta, como se ha hecho en estas notas, por computar el ahorro de costos de mantenimiento del camino como beneficio del proyecto, no deben computarse nuevamente los costos de mantenimiento del camino mejorado, ya que se los estaría computando dos veces.

Una alternativa equivalente es computar como beneficio los costos de mantenimiento del camino sin proyecto e incluir entre los costos del proyecto sus costos de mantenimiento.

También puede ocurrir que durante la construcción los usuarios incurran en costos adicionales debido a la interferencia (desvíos, detenciones, etc). También en los caminos alternativos y complementarios del proyecto se producirán cambios en el flujo de tráfico, cuyos efectos netos deben computarse al analizar la rentabilidad del proyecto.

Si existen varias alternativas técnicas para la solución del problema detectado, deben compararse para preseleccionar las alternativas viables. Esa comparación debe realizarse con un horizonte de tiempo homogéneo, para que se tenga en cuenta un mismo nivel de prestación común a todas las alternativas. Ese horizonte temporal puede ser la vida útil de la obra más importante del proyecto.

## C. MEDICION DE BENEFICIOS Y COSTOS

### 1. BENEFICIOS

#### 1.1 Estimación del flujo de tráfico

La demanda de transporte se estima por el flujo de vehículos que circula por el camino. Ese flujo se representa por el tránsito medio por unidad de tiempo (día, año), el cual se obtiene del conteo vehicular en el terreno o de encuestas específicas.

Es importante que el relevamiento de vehículos se realice simultáneamente para cada sector y para cada punto censal para que sean comparables los resultados.

Para la medición del flujo de tráfico es necesario dividir la red caminera bajo estudio en tramos que no tengan puntos intermedios donde puedan entrar o salir vehículos. De esta forma se logra que el tráfico censado sea sobre el total de usuarios del tramo.

En los estudios de tráfico debe tenerse en cuenta que el

objetivo final es estimar los beneficios del proyecto y, por lo tanto, la información debe permitir estimar la cantidad de tráfico que se produciría sin y con proyecto, a la cual se le deben aplicar valores monetarios para obtener el valor económico de los beneficios del proyecto.

Por ese motivo la información a obtener en los estudios de tráfico debe permitir conocer el flujo de vehículos por unidad de tiempo en determinado lugar, fecha y hora. Para cada vehículo encuestado se debe obtener la siguiente información:

- a) Número de pasajeros y carga (tipo de productos y cantidad)
- b) Origen y destino del viaje
- c) Duración y frecuencia del viaje
- d) Tipo de vehículo: auto, pickup, camión, microbus
- e) Objeto del viaje: trabajo, educación, salud, visita, etc.
- f) Propiedad del vehículo: propio, alquilado (tarifa)

Si no se encuentra disponible esa información, es necesario obtenerla a través de encuestas o entrevistas en el camino a los usuarios del mismo.

Para el diseño de esas entrevistas deben considerarse que existen factores que influyen sobre el flujo vehicular. Entre esos factores se pueden citar:

- a) Sitio de la entrevista: lugar preciso en el camino
- b) Fecha de la entrevista
- c) Hora de la entrevista

El primer factor es importante ya que la definición de los sitios de las entrevistas debe tener como objetivo identificar el flujo de tráfico entre un origen y un destino. Como ya se mencionó, la existencia de caminos de desvío intermedios entre dos sitios de entrevista hace perder información sobre usuarios de tramos intermedios.

Las otras características son relevantes dado que el flujo de tráfico puede tener un comportamiento no uniforme durante las horas del día y en distintas épocas del año. Esto es particularmente válido para el transporte de carga de productos agrícolas y sus insumos.

A partir de la información obtenida en los estudios de tráfico se pueden generar los siguientes datos para la estimación de los beneficios del proyecto:

a) Matriz de origen y destino: en ella se determina el número de viajes que se originan en un punto o zona y tienen por destino otra zona.

b) En cada sitio se puede determinar: 1) Número de vehículos por tipo de vehículo, lo cual permite identificar la proporción de los distintos vehículos utilizados de acuerdo a las características del camino en ese sitio o zona de origen y destino. 2) Número de personas por vehículo. 3) Número de vehículos por intención de viaje. 4) Número de vehículos por producto (carga).

## 1.2 Costo generalizado de viaje

Con la información descripta se puede estimar el costo generalizado de viaje para los distintos tramos del camino a mejorar. 1.5

Para determinar los costos operativos de los vehículos, es posible calcular para cada tipo de vehículo la cantidad de kilómetros recorridos por unidad de tiempo (anual).

A partir del flujo de vehículos por unidad de tiempo en cada tramo, se proyecta el flujo anual. El número de viajes por año se multiplica por la longitud del tramo en kilómetros y se obtiene el total de kilómetros recorridos en ese tramo por ese tipo de vehículos durante un año.

Para darle un valor monetario a ese uso de recursos, se debe multiplicar el kilometraje recorrido en el año por el costo operativo por kilómetro. Para estimar ese valor unitario existen varios estudios que pueden suplir adecuadamente la falta de información en el área de estudio del proyecto.

Entre esos estudios se pueden citar los realizados por el Laboratorio de Investigaciones de Tráfico y Carreteras del Reino Unido (TRRL: Transport and Road Research Laboratory), el cual ha llevado a cabo investigaciones que permiten estimar el costo operativo de distintos tipos de vehículos en determinadas condiciones (tipos de carreteras, climas, etc).

Es de particular utilidad el estudio LR 723 del TRRL, "Tablas para la estimación de los gastos de operación de vehículos por carreteras rurales en países en desarrollo". Otro estudio que puede consultarse para realizar estimaciones es el LR 872 del TRRL, "The Kenya Road Transport Cost Study: Research on Vehicle Operating Costs".

La información sobre el número de pasajeros entre cada origen y destino junto con la duración y frecuencia del viaje permite estimar el tiempo total anual dedicado a viajar. Ese tiempo tiene un costo de oportunidad cuyo valor se debe computar en el costo generalizado de viaje.

Para ello es necesario estimar el valor de la unidad de tiempo de los usuarios del sistema, el cual depende del ingreso dejado de percibir debido al viaje. Como casos de excepción se pueden mencionar los viajes de turismo o excursión, en los cuales el tiempo de viaje puede no ser un costo para el usuario.

## 2. COSTOS

A partir del estudio técnico pueden surgir distintas alternativas del proyecto, ya sea por cambio de diseño del camino (sección transversal, curvaturas, pendientes) y de trabajos de reconstrucción.

Estas alternativas técnicas deben relacionarse con los resultados de los estudios de tráfico. El nivel de uso actual y proyectado del camino permite preseleccionar las alternativas técnicas

viables tanto de diseño como de reconstrucción.

Se debe tener en claro que para el país el costo de los viajes está integrado no sólo por los costos en que incurren los usuarios sino también por el costo del camino (inversión y mantenimiento). Cuanto mejor es la carretera (mayor inversión) menor es el costo generalizado de viaje que afronta el usuario.

La evaluación social del proyecto camino permite seleccionar la combinación de ambos costos que maximiza el valor actual neto del proyecto. Es decir que la evaluación social compatibiliza el interés de los usuarios con los de la comunidad toda.

Es interesante destacar que si el usuario no internaliza (por ejemplo a través de un peaje) todos los costos que ocasiona el viaje, tenderá a hacer un uso excesivo (para la sociedad) del camino ya que no paga los deterioros que provoca.

Si el usuario del camino es otro proyecto, por ejemplo un proyecto industrial o un proyecto de infraestructura que deteriora el camino, debe computarse como costo de ese proyecto el daño del camino. Con ese costo incluido debe determinarse si el proyecto continúa siendo rentable, es decir si compensa todos los costos que ocasiona.

Para compatibilizar el costo privado con el social se puede usar un peaje diferencial que permita internalizar ese costo en la decisión privada de usar el camino. Ese peaje diferencial se puede hacer en función de la relación técnica peso por eje. Otra alternativa usada si bien no es tan eficiente pero sí más simple, es la prohibición de usar el camino a los vehículos que excedan una determinada relación peso por eje, a partir de la cual se ocasionan daños al camino.

En la descripción de los costos del proyecto se debe especificar el origen de los distintos componentes, la calificación de cada tipo de mano de obra y la duración del período de construcción y la vida útil del proyecto.

Con esta información se puede completar la formación del flujo de costos y beneficios del proyecto y se realiza la evaluación privada y social del proyecto.

## II. METODOLOGIA DE PREPARACION

### A. ANTECEDENTES

En la descripción del proyecto se deben incluir los siguientes antecedentes:

- Región donde se localiza, descripción y mapa
- Problema a solucionar
- Estudios previos: información relevante para el proyecto

## B. DIAGNOSTICO

En el diagnóstico corresponde analizar la oferta actual de infraestructura y la demanda vehicular en el área del proyecto para poder determinar las causas que explican el nivel de servicio actual de la infraestructura.

### 1. INFRAESTRUCTURA

La descripción de la infraestructura actual debe contener toda la información necesaria para el cálculo de los costos de operación de vehículos y de los tiempos de viaje.

Es necesario identificar los tramos del camino con características homogéneas y en su descripción se debe incluir:

1. Longitud del tramo (kms)
2. Características de diseño: pendiente y longitud, curvatura promedio
3. Sección transversal del camino: ancho, número de vías, arcenes, cunetas
4. Carpeta de rodado: material base, capa de pavimento, estado de conservación
5. Obras de arte: puentes, desagües, muros de contención

### 2. DEMANDA VEHICULAR ACTUAL

La cantidad demandada de transporte se mide por el flujo de vehículos que circula por el camino en una unidad de tiempo.

En los estudios de prefactibilidad es necesario realizar conteos y o entrevistas de usuarios en el camino. El conteo se debe realizar simultáneamente para cada zona y sitio elegido.

La información obtenida se vuelca en un mapa que contiene el área del proyecto con ubicación de los sitios de entrevistas y con indicación de los flujos de tráfico entre zonas por tipo de vehículo.

## C. ALTERNATIVAS TECNICAS

Con los resultados del estudio de la oferta y demanda actual se deben identificar todas las alternativas técnicas que dan solución al problema planteado.

Para seleccionar las alternativas a evaluar en el estudio económico es necesario considerar los argumentos institucionales, técnicos y económicos que permitan rechazar algunas de las alternativas originalmente planteadas como viables. La consideración conjunta de esos factores permite reducir el número de alternativas a analizar en la evaluación económica.

## D. PROYECCION DE BENEFICIOS Y COSTOS

En la proyección del tráfico futuro deberá compatibilizarse la evolución histórica observada con las proyecciones sectoriales que puedan afectar el tráfico futuro.

Le

La proyección de beneficios futuros debe realizarse teniendo en cuenta los siguientes elementos: a) Tendencia histórica observada; b) Proyecciones relativas a los usuarios del sistema: población, sectores productivos (agrícola, ganadero, etc); c) Incorporación de proyectos productivos en el futuro.

Para la proyección de costos se debe considerar la duración del periodo de construcción, los reemplazos de equipos e instalaciones y los costos de mantenimiento anuales.

METODOLOGIAS DE EVALUACION Y PREPARACION DE  
PROYECTOS DE ELECTRICIDAD

12

(BORRADOR PARA DISCUSION)

Roberto CORTEGOSO  
Consultor Proyecto  
EQG/87/001 DTCD-UN

I. METODOLOGIA DE EVALUACION

A. INTRODUCCION

Para la evaluación de proyectos en este sector es necesario tener en cuenta las características propias de la industria y de su producto.

Es muy común que la empresa prestataria del servicio actúe en condiciones de monopolio en una determinada área geográfica. Por ese motivo suele estar regulada por el Estado e, inclusive, la prestación del servicio la realiza generalmente una empresa pública.

Como las tarifas son reguladas por el Estado puede ocurrir que esos precios no reflejen el verdadero valor para los usuarios de la energía. Si la tarifa se fija por debajo del precio de mercado se producirá un deterioro en la calidad del servicio, ya que a ese precio es mayor la cantidad de energía demandada que la producida. En este caso al país le conviene usar el precio de mercado para ajustar la cantidad demandada a la capacidad existente, en lugar de racionar el consumo por medio de cortes del servicio o disminución de la calidad del fluido eléctrico (caídas de tensión).

Las características técnicas de este sector inciden notablemente sobre la metodología de evaluación de los proyectos eléctricos.

Un sistema eléctrico se compone de varias partes que se pueden clasificar en generación, transmisión y distribución a los usuarios.

En la parte de generación existen distintas alternativas. En cuanto al insumo del proceso eléctrico pueden mencionarse las centrales de generación hidroeléctrica, térmica, eólica y nuclear.

Las diferencias provienen de la fuente de energía que utilizan para transformar en energía eléctrica (agua, combustibles, viento).

El sistema de transmisión del fluido eléctrico de las centrales de generación a los centros de consumo permite a su vez interconectar las distintas unidades de generación de tal forma que todas abastezcan a un mercado único.

Esta integración en un sistema interconectado presenta ventajas para la operación ya que permite cubrir las deficiencias de unas centrales mediante la producción de otras con capacidad de generación.

Por ejemplo una central hidroeléctrica produce electricidad



para el sistema mientras tiene agua que procesar, dado sus costos operativos prácticamente nulos. En cuanto esa central no puede producir más energía entran a producir en el sistema aquellas centrales que le siguen en eficiencia, medida en términos de costos operativos.

Las características del producto son muy relevantes para las decisiones de asignación de recursos en este sector.

Las centrales de generación ofrecen potencia y energía. La potencia se puede definir como la capacidad de generar trabajo mecánico en una unidad de tiempo. La energía se mide por el trabajo realizado en un período de tiempo.

La potencia se mide en Kw (kilowatt) o sus múltiplos, mientras que la energía se mide en Kwh (kilowatt hora). Una central con una capacidad (potencia) instalada de 1000 kw puede generar energía por valor de 1000 kwh trabajando 1 hora, mientras que una central con 10 kw de potencia también puede generar energía por 1000 kwh trabajando 100 horas.

Esta distinción es importante cuando se observa el mercado usuario. El consumo del bien se mide en kwh, tanto para el consumo como bien final o el uso como insumo de procesos productivos. Sin embargo, para la producción de esa energía interesa además ver como se distribuye en el tiempo. Cuanto más se concentra en el tiempo requiere una mayor capacidad de generación instalada (potencia), dado el carácter de bien no almacenable que tiene la energía.

En los proyectos eléctricos los costos de inversión están relacionados con la capacidad instalada (potencia), mientras que los costos operativos dependen de la energía generada.

Para igual cantidad de energía producida, se reducen los costos de inversión cuánto más uniformemente se distribuye esa energía en el tiempo, ya que requiere una menor potencia instalada.

Esa relación entre potencia instalada y energía generada se mide a través del factor de carga. Este factor relaciona la energía efectivamente generada en un período con la máxima nominal que se podría generar, la cual se obtiene multiplicando la potencia instalada por el número de horas del período (un año por ejemplo).

Un factor de carga bajo significa que la capacidad instalada tiene mucha capacidad ociosa. Esto se encuentra relacionado con la distribución del consumo a través del tiempo.

Los tipos de proyectos que se pueden presentar se refieren a la ampliación o reemplazo de los distintos componentes del sistema eléctrico. Las decisiones pueden referirse a la incorporación o reemplazo de centrales de generación, líneas de transmisión y distribución a usuarios, nuevos o existentes.

## B. IDENTIFICACION DE BENEFICIOS Y COSTOS

### 1. BENEFICIOS

Para realizar la evaluación económica de estos proyectos se deben identificar las necesidades de energía del mercado a satisfacer.

La energía eléctrica compite con otras fuentes de energía utilizadas para satisfacer las necesidades. La electricidad forma parte de la oferta de energía en el mercado. Los usos de la electricidad satisfacen muy diversas necesidades, tales como iluminación, cocción, calefacción, refrigeración, fuerza mecánica, etc. tanto como bien final como en el uso en procesos productivos.

Las alternativas energéticas a la electricidad dependen de los usos. Para ciertos usos el número de alternativas puede ser muy grande, mientras que otros usos admiten muy pocos o ningún sustituto. En este último caso el proyecto eléctrico forma parte de un proyecto mayor que incluye al proyecto que usa la electricidad como insumo.

En la medida que esas otras fuentes se encuentran disponibles, los beneficios de los proyectos eléctricos se pueden medir por la liberación de recursos que dejan de ser usados en las alternativas.

En las decisiones de reemplazo de las líneas de transmisión y distribución interviene como beneficio la eliminación de las pérdidas de electricidad y caída de tensión por el estado de las líneas sin proyecto.

### 2. COSTOS

Los costos de los proyectos eléctricos están formados por los costos de inversión en los distintos componentes (generación, transmisión y distribución) y los costos de operación y mantenimiento.

Las distintas alternativas de generación pueden estar ligadas a diferentes costos en los otros componentes del sistema. Por ejemplo la localización de una central hidroeléctrica depende de donde se localiza el recurso hidráulico, cuya capacidad de generación de energía está relacionada con el caudal de agua y con la altura de la caída del agua.

Esa restricción de localización de la central hidráulica implica determinados costos de transmisión de la energía generada a los centros de consumo.

Además a medida que aumenta la longitud de las líneas se pierde más energía en la transmisión, energía producida que no llega al mercado para ser usada.

Por otra parte una central térmica compensa sus mayores costos operativos frente a la hidráulica con su mayor flexibilidad en la localización, para lo cual se tienen en cuenta los costos de transmisión de la energía (producto) frente al costo de transporte de los insumos, por ejemplo el combustible.

## C. MEDICION DE BENEFICIOS Y COSTOS

### 1. BENEFICIOS

Para cuantificar los beneficios, es necesario conocer los requerimientos eléctricos a satisfacer. Si se trata de un mercado preexistente, se pueden conocer los requerimientos de generación de energía y de capacidad instalada.

El comportamiento temporal de los consumos de energía permite distribuirlos en el tiempo, teniendo en cuenta la demanda de capacidad de generación (potencia) que implican. Para un determinado período (un día, un año) se consideran los consumos horarios que produce el sistema y se agrupan las horas en las cuales el consumo horario ha sido mayor o igual que una determinada capacidad.

De esa forma se construye la Curva de Duración de Carga que relaciona la capacidad demandada (potencia) con el número de horas en las cuales se demanda como mínimo esa capacidad. Con ella se pueden identificar los subperíodos del día o año en que se presentan los consumos máximos, a los cuales se denomina con el nombre de períodos punta o de demanda horaria máxima.

Este análisis permite ver que en la demanda de electricidad se pueden distinguir dos componentes: Demanda de energía y demanda de potencia. La distribución en el tiempo de la energía consumida en un determinado período tiene fundamental importancia para el análisis de las alternativas que se pueden usar para satisfacerla.

Cada uno de los sectores usuarios de electricidad tiene su requerimiento de energía y de potencia. El consumo doméstico para calefacción y refrigeración está relacionado con las condiciones climáticas (temperatura), mientras que el uso para iluminación depende de las horas-luz en cada período del año.

Los usuarios industriales tienen un consumo de energía que depende de la relación técnica entre unidad de producto y uso de energía. A su vez, el comportamiento temporal de ese consumo depende del proceso productivo. Si es un proceso agroindustrial, el mayor consumo se concentrará en el momento en que esté disponible la materia prima perecedera. En cambio en otros procesos industriales su nivel de actividad puede ser más uniforme en el tiempo o estar relacionado con el mercado estacional del producto.

Al agregar las distintas demandas sectoriales se obtiene la curva de duración de carga del sistema que se debe satisfacer.

A las unidades físicas así determinadas se les aplica el costo de generación y se obtiene el costo de abastecimiento actual de energía optimizado sin proyecto, el cual constituye el beneficio anual del proyecto.

El concepto de optimizado tiene particular importancia en este tipo de proyectos. La distribución temporal de los consumos de energía tiene en cuenta la tarifa o precio a pagar por unidad consumida.

Si no se diferencia en la estructura tarifaria entre horas punta y horas no punta, o valle, al usuario le resulta indiferente el momento en el cuál consume, lo cuál no es cierto para el país desde el punto de vista de los costos de producción de energía.

Debe tenerse en cuenta en que momento del periodo se produce el consumo. Si la demanda es en horas punta, para satisfacer ese consumo adicional es necesario incurrir no sólo en costos de operación sino también en mayores costos, medidos a través de la ampliación de la capacidad o el valor que le asignan a la energía usada los consumidores que son desplazados, el que sea menor.

En cambio si la demanda es en horas de valle o fuera de punta, los costos adicionales para proveer esa energía son sólo los costos marginales de operación.

Una estructura tarifaria que considere estos efectos puede contribuir a modificar la curva de duración de carga, "aplanándola" en el tiempo, con lo cuál para producir la misma cantidad de energía se requieren menores costos de inversión en capacidad o, alternativamente, se libera esa capacidad para atender otros usuarios de energía.

Este mecanismo de tarifas diferenciales es de amplia aplicación en las tarifas telefónicas y en aquellos mercados que presentan una estacionalidad en la demanda, como es el caso de las tarifas aéreas que diferencian temporada alta y temporada baja.

La aplicación de este esquema tarifario en un sistema eléctrico implica incurrir en costos adicionales de medición del consumo en las distintas horas, para lo cual hay tecnologías disponibles.

Si bien puede no justificarse su uso en forma general, puede ser muy rentable su aplicación en los grandes consumidores, de tal forma que tengan en cuenta en sus decisiones privadas de uso de energía los costos en que la sociedad debe incurrir para satisfacerlos.

## 2. COSTOS

Una vez determinados los requerimientos de energía y potencia en la situación optimizada sin proyecto se deben considerar las distintas alternativas que existen para satisfacerlos.

Dentro de los proyectos eléctricos se presentan diversas alternativas. En cuanto a la fuente de insumo utilizada ya se mencionó que existen centrales hidráulicas, térmicas, eólicas y nucleares.

Cada una de ellas presenta particularidades que se deben considerar al momento de seleccionar las alternativas.

Las centrales hidráulicas pueden ser de pasada o de embalse. En el primer caso se turbinan el agua en el momento en que se dispone. En la central de embalse se puede almacenar el agua cuando viene por el río y luego se turbinan, es decir se transforma en energía eléctrica cuando el mercado lo demanda.

El primer tipo de central depende de la disponibilidad de agua en el río. Si ésta es de difícil pronóstico, la posibilidad de generar energía puede estar disponible en el momento en que no se requiere. Por el carácter no almacenable de la energía, esta generación se pierde.

Las centrales hidráulicas tienen la ventaja de costos de generación u operativos muy bajos frente a las otras alternativas.

Las centrales térmicas transforman energía calórica en energía eléctrica. Como característica económica de estas centrales se puede mencionar su bajo costo de inversión relativo (por kw de capacidad) y sus altos costos operativos en relación a otras centrales.

Las centrales eólicas se parecen en su comportamiento a las centrales hidráulicas de pasada. Si bien tienen costos de generación prácticamente nulos, su capacidad de generación depende de la presencia de vientos. Existen regiones donde la disponibilidad de este recurso ha permitido la implantación de estas centrales en los mismos lugares donde se consume.

La comparación de las distintas alternativas implica colocarlas en situaciones comparables. El grado de confiabilidad, la disponibilidad en los centros de consumo, la inversión inicial y los costos de generación deben ser compatibilizados en ese análisis comparativo.

Para comparar una central térmica con una hidráulica de embalse, se debe considerar que la térmica, a igual nivel de potencia instalada, tiene una producción de energía más confiable. Para hacerlas comparables es necesario aumentar la inversión en la hidráulica, mayor embalse, para que tengan igual confiabilidad.

Por el lado de la inversión, la flexibilidad de la localización debe tenerse en cuenta. En la inversión en cada central deben computarse los costos respectivos de transmisión a los centros de consumo.

Una vez que se han homogeneizado las distintas centrales se pueden comparar desde el punto de vista económico para minimizar los costos de proveer electricidad, ya que proporcionan el mismo servicio, de igual confiabilidad y disponibilidad en el mercado.

En la comparación económica inciden los diferentes costos de inversión y operación. La central térmica tiene ventajas frente a la hidráulica en los costos de inversión, mientras que tiene altos costos operativos por unidad de energía (Kwh) generada frente a costos casi nulos de la generación hidroeléctrica.

La elección de cuál alternativa minimiza los costos de recursos asignados depende de la tasa de descuento que enfrenta el inversionista o el país.

Cuanto mayor es la tasa de descuento, menor es la importancia de los costos operativos altos de la central térmica con lo cual aumenta su ventaja frente a la hidráulica. Así puede ocurrir que con tasas de descuento altas se seleccione la central térmica, mientras que

con tasas de descuento bajas se elige la central hidráulica. 35

A su vez, para una determinada tasa de descuento, la elección entre una central térmica y una central hidráulica depende de las horas de funcionamiento al año de esa central. Cuánto mayor es el número de horas al año que debe funcionar una central aumenta la ventaja relativa de los menores costos operativos de la central hidráulica.

#### D. HORIZONTE DE EVALUACION

Si se considera la vida útil física de la inversión puede ocurrir que sea un período tan largo como 50 años o más, como es el caso de las centrales hidráulicas.

Dada la forma de estimar los beneficios que consiste en comparar alternativas de equipamiento de un sistema, la comparación debe comprender un horizonte de evaluación que permita homogeneizar la vida útil del sistema eléctrico, con y sin proyecto.

Es aconsejable seleccionar la vida útil física del equipo o alternativa de más larga duración como horizonte de evaluación. Ello obliga a computar las inversiones de reemplazo en las alternativas de equipamiento de menor vida útil. Por ejemplo si la central hidráulica tiene una vida útil de 30 años y la central térmica dura 15 años, se elige como horizonte de evaluación el período de 30 años, incluyendo en la alternativa térmica un costo de reemplazo en el año 15.

Esta sugerencia se debe al hecho de no contar con estimadores confiables del valor residual de una central hidráulica al término de 15 años de operación (no existe un mercado de centrales usadas, al menos hidráulicas).

## II. METODOLOGIA DE PREPARACION

### A. ANTECEDENTES

Entre los antecedentes más relevantes para este tipo de proyectos interesa describir la región donde se ubica el proyecto y el mercado a satisfacer, el problema a solucionar y los estudios previos que contengan información válida para el proyecto.

### B. DIAGNOSTICO

En el análisis de la situación actual se debe describir la oferta actual, con sus características de localización, nivel de equipamiento, capacidad instalada, antigüedad, estado de conservación, que permitan determinar las causas del nivel de servicio actual.

Esa descripción debe incluir no sólo las unidades de generación del sistema, sino también las líneas de transmisión y las redes de distribución.

Para los distintos sectores usuarios se debe identificar su localización geográfica en relación al sistema eléctrico, su nivel de consumo de energía y su comportamiento estacional y su relación con los

distintos sectores productivos. 34

La discriminación sectorial de los usuarios a nivel macroeconómico coincide con las cuentas nacionales. En esta descripción el nivel de detalle requerido pretende identificar el comportamiento del consumo a través del tiempo por sus efectos sobre la capacidad del sistema eléctrico (potencia y energía).

Con esa información se puede hacer el diagnóstico sobre la situación actual y el nivel del problema a solucionar.

### C. ALTERNATIVAS TECNICAS

A partir del diagnóstico se pueden identificar alternativas técnicas viables que permitan solucionar el problema planteado.

La viabilidad de las alternativas técnicas debe tener en consideración el mercado a satisfacer. Para ello es de fundamental importancia el conocimiento de la distribución del consumo a través de cada período, ya que en función del mismo se seleccionan las alternativas a ser incluidas en la evaluación.

El número de opciones técnicas de generación, localización y tamaños de las inversiones debe considerar la mayor cantidad de alternativas, debido a que las ventajas relativas de cada una dependen fuertemente de las características del mercado que se enfrenta, es ir del problema a solucionar.

### D. PROYECCION DE BENEFICIOS Y COSTOS

En la proyección de los beneficios debe tenerse en cuenta la evolución de los distintos sectores usuarios de electricidad. Cada uno de ellos está relacionado a determinadas variables, de cuyo pronóstico depende la proyección respectiva.

El consumo residencial está relacionado a la evolución de la población servida y su nivel de ingreso.

Los consumos sectoriales, industria, agricultura, comercio, minería, etc., dependen de los indicadores de evolución de cada uno, al igual que de los proyectos que se pondrán en marcha en el futuro.

En la proyección de los costos deben considerarse los distintos componentes del sistema eléctrico, con sus correspondientes costos de inversión, reemplazo, operación y mantenimiento.

35

METODOLOGIAS DE EVALUACION Y PREPARACION DE  
PROYECTOS DE PUERTOS

(BORRADOR PARA DISCUSION)

Roberto CORTEGOSO  
Consultor Proyecto  
EQG/87/001 DTCD-UN

I. METODOLOGIA DE EVALUACION

A. INTRODUCCION

Existen diversos tipos de proyectos los cuales tienden, en general, a aumentar la capacidad portuaria, medida a través de la cantidad y calidad de los servicios que presta el puerto.

La capacidad de un puerto depende de múltiples factores. Entre los más importantes se pueden destacar el número de sitios de amarre, carga y descarga, tiempo total de operaciones (horas día y días año trabajados), velocidad de carga y descarga por tipo de productos, secuencia de llegada de naves, relación con medios de almacenaje y de transporte terrestre, estandarización de bienes movilizadas, estacionalidad de la producción exportada, etc.

Cada uno de estos factores puede generar cuellos de botella en la capacidad del puerto, a pesar de que no existan restricciones en las otras variables. Detectar cuáles son los cuellos de botella permite identificar las acciones o proyectos a emprender con prioridad para mejorar la capacidad del puerto.

El congestionamiento de un puerto se detecta básicamente a través del tiempo de espera de las naves a la gira y del nivel de utilización de los sitios de amarre.

Según normas técnicas internacionales, cuando el nivel de utilización de los muelles supera el 75% del tiempo total disponible es un indicador de la conveniencia de analizar una ampliación de los servicios portuarios.

Otro indicador de la capacidad de un puerto es la cantidad de carga que puede procesar por día, medida en toneladas-día.

La suma del tiempo de espera y del tiempo de servicio de una nave en un puerto, conocida internacionalmente como STAT (Ship Turn Around Time) es un indicador que genera, cuando alcanza un determinado valor, la aplicación de recargos en los fletes de los buques de línea y de castigos en los contratos de arrendamiento de los buques charters.

Ese indicador se encuentra tabulado para todos los puertos a nivel mundial, de tal forma que las compañías navieras pueden estimar todos los costos de operar en cada puerto.

La variedad de factores permite ver que hay muy diversas alternativas de proyectos para aumentar la capacidad de un puerto. En general se pueden identificar tres formas de enfrentar el problema del congestionamiento de un puerto: a) Mejoras de infraestructura; b) Mejoras de los sistemas de operación y c) Mejoras en el sistema de



tarifas portuarias.

36

A modo de ejemplo se pueden mencionar la ampliación de los muelles de amarre, ampliación del tiempo activo del puerto (más turnos de trabajo), incremento de equipos (grúas, transporte interno), bodegas y playas de almacenamiento, estacionalidad en las tarifas de acuerdo a la demanda y capacidad del puerto, etc.

## B. IDENTIFICACION DE BENEFICIOS Y COSTOS

### 1. BENEFICIOS

Una inversión en obras portuarias puede implicar beneficios que normalmente se distribuyen entre los distintos agentes relacionados con el puerto.

Desde el punto de vista del puerto en sí, evaluación privada, dichos beneficios pueden consistir en ingresos adicionales por derechos pagados por los buques, por manipulación de cargas, por alquileres de equipos y almacenes u otros servicios.

Desde el punto de vista de los usuarios pueden presentarse ahorros en los costos de estancia de los buques en el puerto, ahorros por economías de escala (al operar buques de mayor tamaño), ahorros en los costos de los seguros (menores riesgos de deterioros), ahorros en costos de manipulación de cargas, ahorros en costos de capital inmovilizado en mercaderías (menor tiempo de viaje total), etc.

Estas reducciones de costos pueden llevar a un mayor uso del puerto por mayor cabotaje, importaciones y exportaciones, con sus correspondientes beneficios y costos sociales.

Debido a los diferentes intereses en juego en torno a un proyecto portuario, la evaluación del proyecto puede diferir según sea el punto de vista con que se realice.

Evaluated desde el punto de vista privado de la autoridad portuaria un proyecto puede resultar rentable o no. En cambio el resultado puede ser distinto cuando se evalúa desde el punto de vista del país en su conjunto.

También puede darse el caso que el proyecto no sea rentable para el país y sí lo sea para el mundo en su conjunto. Esto reviste particular importancia para las negociaciones que debe realizar el país para definir quién ha de pagar los costos del proyecto, ya que al país desde su punto de vista no le conviene realizarlo.

La suma de los tiempos de espera y de servicio de una nave en un puerto constituye uno de los indicadores más importantes para los usuarios del mismo, ya que incide directamente en los costos de operación de los barcos y, por lo tanto, sirve de referencia para la fijación de los fletes marítimos.

El congestionamiento de un puerto, ocasionado por cualquiera de los motivos ya vistos, incrementa los costos de los usuarios.

La magnitud del beneficio para el país del proyecto de ampliación de capacidad, depende fundamentalmente de si las empresas navieras son nacionales o extranjeras, de si las naves son de línea (liners) o arrendadas (charters) y de la forma en que se convienen los fletes o arriendos.

En el caso de los buques de líneas, las empresas propietarias usualmente están adheridas a acuerdos o "conferencias" internacionales que fijan monopólicamente el valor de los fletes, que por lo general son comunes para todos los puertos de una misma área geográfica.

Para este tipo de naves los fletes son usualmente recargados cuando los puertos presentan incrementos significativos en el tiempo de servicio y espera de las naves. Una vez producido ese recargo, las mejoras que produce la ampliación de la capacidad del puerto demoran en ser trasladadas a los fletes por medio de su rebaja.

Por lo tanto la mejora por la descongestión del puerto beneficia inmediatamente a las empresas navieras y sólo al cabo de un cierto tiempo beneficia a los usuarios con menores fletes. Si las empresas navieras son nacionales ese beneficio capturado por ellas constituye un ahorro de recursos para el país.

En cambio si las empresas son extranjeras, el beneficio para el país se produce recién cuando los menores costos del puerto se trasladan al flete pagado por los usuarios.

Esto es importante tenerlo en cuenta para que el país negocie con las compañías transportadoras extranjeras la pronta rebaja de los fletes frente a las mejoras introducidas en el puerto, de tal forma que el país logre aumentar sus beneficios, al capturarlos más rápidamente.

En el caso de los buques charters, cuyo mercado es más competitivo, existen dos modalidades básicas de contratos de arrendamiento. Una de ellas consiste en un arriendo por un lapso determinado y le permite al arrendador efectuar todos los viajes que desee. La otra se refiere a una carga determinada y a puertos específicos, estipulando premios y castigos por adelantos o atrasos en relación a tiempos bases establecidos en el contrato.

En ambas modalidades de contratación, los ahorros producidos por la disminución de la congestión benefician a los usuarios, es decir al país, ya que se asignan menos recursos al transporte marítimo.

## 2. COSTOS

Los costos de la ampliación de un servicio portuario pueden ser de muy diferente naturaleza, dependiendo del tipo de proyecto.

Así es como pueden presentarse inversiones en obra civil de ampliación de muelles y playas de operación y almacenaje, rampas de acceso y de calafateo, servicios (agua, electricidad); etc.

También se pueden realizar inversiones en equipos de movimiento de carga, descarga y almacenamiento, tales como grúas y elevadores, señalización marítima, etc.

Mientras que otros proyectos pueden significar sólo cambios en los costos operativos, como es el caso de ampliación de las horas de servicio del puerto.

La modificación de normas portuarias y aduaneras pueden mirarse como proyectos portuarios cuyo principal beneficio es la disminución del tiempo de servicio y espera de las naves. En este caso los mayores costos operativos de la administración portuaria y aduanera deben confrontarse con los beneficios que se obtienen.

Las inversiones en obra civil y en equipos implican costos de mantenimiento y operación durante su vida útil.

### C. MEDICION DE BENEFICIOS Y COSTOS

#### 1. BENEFICIOS

Para medir los beneficios es necesario comparar las situaciones de congestión con y sin proyecto. Esta comparación permite determinar los ahorros en días de espera y tiempo de servicios que se producirían en cada año con motivo de la ejecución del proyecto.

Para cuantificar los beneficios se debe contar con información sobre el costo del día de espera por tipo de nave, el número de días de espera ahorrados por año y el nivel de captación nacional de los beneficios.

Si la prestación del transporte marítimo es realizada por empresas extranjeras, debe calcularse el ahorro de costos que obtienen para considerarlo en el análisis de la distribución de los beneficios del proyecto portuario y su incorporación como beneficio para el país a través de la rebaja de fletes.

Para proyectar las cargas movilizadas por el sistema portuario bajo análisis, se deben identificar el tipo de mercaderías ingresadas o salidas por el puerto para analizar su evolución en los últimos años.

En los países productores de materias primas, los sectores exportadores son básicamente agricultura, forestal, minerales y metales, etc.

En cuanto a las importaciones suelen presentarse productos elaborados como equipos, rodados, productos químicos, materiales de construcción, textiles, etc. Es necesario desagregar las estadísticas de comercio exterior para identificar con precisión las actividades usuarias del sistema portuario y su evolución.

En la medida que el sector forestal es un usuario importante del sistema portuario, es necesario tener en cuenta la disponibilidad del recurso natural y los proyectos específicos de explotación de las empresas madereras, tanto en las actividades de extracción como de reforestación.

Los rubros de los otros sectores también deben analizarse desagregadamente, teniendo en cuenta los proyectos de ampliación c

desarrollo de las empresas o sectores involucrados.

Dado que la capacidad del puerto se mide en términos de unidades procesadas por unidad de tiempo, interesa conocer la distribución estacional de la demanda de servicios portuarios, tanto de exportaciones como de importaciones y de cabotaje, ya que todas compiten por la misma capacidad en un determinado momento o periodo del año.

Los resultados de las proyecciones de demanda de servicios portuarios deben asignarse a los puertos conforme a la naturaleza de los productos (a granel, carga general, rollizos, etc) y a las características técnicas de cada puerto (profundidad, especialidad, velocidad de procesamiento de la carga, etc).

La proyección de la demanda de servicios portuarios que enfrenta cada puerto en las situaciones sin y con proyecto, junto con la capacidad de procesamiento del puerto, medida por ejemplo en toneladas día, permite determinar los ahorros de costos operativos de las naves usuarias debidos al menor tiempo de espera y servicio.

Los resultados que se obtienen son ahorros de días naves por año, los cuales se valorizan en unidades monetarias.

Para ello se cuenta con estudios que permiten estimar el costo día-nave en puerto por tamaño del buque, medido en toneladas de peso vacío. Naciones Unidas ha realizado un estudio en el cual estima que el costo día-nave para un buque charter de 7500 Tns. es de U\$S 2800, mientras que para un buque de 32000 tns. su costo es de U\$S 6700. Igualmente obtiene los costos para los buques de línea para diferentes tonelajes.

## 2. COSTOS

Los costos de un proyecto portuario pueden ser de inversión, operación, mantenimiento y reemplazos.

Un factor a tener en cuenta en el diseño de la ejecución del proyecto es el tiempo que el puerto estará fuera de servicio durante la construcción de las obras. Dada la naturaleza de los beneficios, cuanto mayor sea ese tiempo, menor será la rentabilidad del proyecto.

Por ese motivo se debe poner especial atención en la minimización del tiempo de construcción y en permitir la habilitación parcial del puerto durante ese lapso, teniendo en cuenta la estacionalidad de la demanda de los servicios portuarios.

## II. METODOLOGIA DE PREPARACION

### A. ANTECEDENTES

En el relevamiento de los antecedentes reviste particular importancia contar con información de los distintos sectores usuarios de los servicios portuarios. La demanda de los servicios del puerto es una demanda derivada que depende de la evolución esperada en los

sectores usuarios. 170

Entre esos antecedentes se debe incluir la evolución de los mercados internacionales de los principales productos transportados, planes sectoriales respecto a la producción de bienes exportables, proyectos de inversión sectoriales, públicos y privados, etc.

Estos antecedentes se utilizan para proyectar la demanda de servicios portuarios, expresada en toneladas por periodo, que son las unidades de capacidad de procesamiento del puerto.

En la identificación del proyecto debe incluirse además de su localización geográfica la existencia de puertos alternativos, cada uno con su respectiva capacidad y tipo de carga que pueden procesar.

Debe realizarse una clara descripción de los aspectos institucionales, tanto de la prestación de los servicios portuarios como de las relaciones con las empresas navieras y sus organismos de consulta.

Debe identificarse la forma de prestación del servicio, ya sea a través de organismos públicos o empresas mixtas o privadas.

También debe incluirse una descripción de todas las actividades que están relacionadas con la actividad portuaria, además de los servicios portuarios específicos. Entre ellos merece destacarse operatoria aduanera con sus respectivos trámites y tiempos de ejecución.

## B. DIAGNOSTICO

Con el análisis de la prestación actual del sistema frente a la demanda de servicios portuarios y sus características, se puede identificar el origen, magnitud y tipo de problema a resolver.

Las restricciones operativas de un puerto exigen considerar simultáneamente el nivel de servicio de la infraestructura actual frente a los requerimientos de servicio por parte de los usuarios. La existencia de muy diversos factores puede explicar las restricciones de capacidad de la infraestructura actual.

Es por ello que se deben identificar cuáles son los factores que están actuando, lo cual permite definir y acotar el rango de acciones a tomar.

Además la proyección de la demanda futura de servicios portuarios permite estimar los momentos en que la restricción de capacidad del puerto justifique tomar la decisión de ampliarla.

## C. ALTERNATIVAS TECNICAS

Las alternativas técnicas a considerar dependen del tipo de problema que se identifica en el diagnóstico.

Estas acciones pueden concretarse en inversiones en obra: civiles, equipos y maquinarias, y en costos anuales de operación y mantenimiento. Otras alternativas técnicas viables pueden consistir en

mayores costos operativos debido a la ampliación de las horas de servicio del puerto.

#### D. PROYECCION DE BENEFICIOS Y COSTOS

Las alternativas técnicas viables estan relacionadas con la magnitud del problema a resolver. Las restricciones de capacidad se producen al confrontar el nivel del servicio portuario con la demanda.

Ambos factores tienen una evolución esperada en el futuro, con lo cual la magnitud del problema puede cambiar a través del tiempo, y esto incide sobre cuáles son las alternativas a considerar para dar solución a la magnitud del problema planteado.

Esta relación entre la evolución de la demanda de servicios portuarios y la capacidad de la infraestructura permite identificar los momentos en que será necesario tomar las diferentes decisiones para ampliar la capacidad.

Existen decisiones que pueden llevarse a cabo en forma inmediata, como es el caso de las modificaciones de las condiciones operativas actuales del puerto. En la medida que esas decisiones sean rentables se logra optimizar la situación actual de prestación del servicio, la cual se constituye en la situación base para determinar la rentabilidad de acciones de inversión.

METODOLOGIAS DE EVALUACION Y PREPARACION DE  
PROYECTOS PESQUEROS ARTESANALES

4/7

(BORRADOR PARA DISCUSION)

Roberto CORTEGOSO  
Consultor Proyecto  
EQG/87/001 DTCD-UN

I. METODOLOGIA DE EVALUACION

A. INTRODUCCION

Para el desarrollo de la actividad pesquera artesanal pueden ser necesarias inversiones que el pescador individual no puede llevar a cabo, ya sea por incapacidad financiera o por no integrarse en agrupaciones cooperativas.

Esta inversiones pueden referirse no sólo a la infraestructura portuaria, entendiendo como tal a aquella relacionada con el atraque, aprovisionamiento y guarda de las embarcaciones.

También pueden ser inversiones en infraestructura de apoyo, tales como obras para reparación de embarcaciones, preparación de redes y equipos, comercialización y manipulación, guarda de equipos, etc.

B. IDENTIFICACION DE BENEFICIOS Y COSTOS

1. BENEFICIOS

Los beneficios que pueden generar este tipo de proyectos estan relacionados con la mayor disponibilidad de bienes y la liberación de recursos productivos.

Entre los beneficios posibles se pueden mencionar:

- a) La posibilidad de una captura mayor de peces con mejoras en la calidad del producto
- b) Ahorro de combustible y tiempo en la captura, extracción y desembarco
- c) Disminución de pérdidas de materiales y elementos de trabajo
- d) Disminución del costo de reparación de embarcaciones

No necesariamente todo proyecto implica obtener todos estos beneficios. Cada proyecto acentúa su rentabilidad sobre algunos de los beneficios.

2. COSTOS

Los costos del proyecto incluyen la inversión inicial y su operación, además de la mayor utilización de recursos para la actividad pesquera adicional que puede permitir el proyecto.

## C. MEDICION DE BENEFICIOS Y COSTOS

### 1. BENEFICIOS

43

#### 1.1 Aumento de la captura

El proyecto permite dedicar más tiempo a la actividad pesquera en relación a la situación sin proyecto. Esto se debe a que los pescadores cuentan con instalaciones más seguras que permiten salir a trabajar días adicionales.

Para obtener esa captura adicional de peces, los pescadores incurren en costos operativos adicionales, con respecto a la situación sin proyecto. Esos costos deben computarse en la situación con proyecto, ya sea deducidos del valor de la captura adicional o agregándolos a los costos del proyecto pesquero.

Para determinar el valor bruto de la captura adicional debe conocerse el mercado en el cual se ha de vender. Este puede ser local, nacional y/o internacional. Cada uno de ellos implica obtener precios diferentes pero también requieren costos adicionales (selección, frío, embalaje), que deben ser computados en los costos del proyecto, si fuese rentable la decisión marginal de llegar a esos mercados.

#### 1.2 Mejora en la calidad del producto

Por las mejoras en las condiciones de descarga debidas al proyecto, puede observarse que el deterioro en la calidad de la captura es menor en la situación con proyecto frente a la situación sin proyecto. Ese aumento en la calidad del producto, puede llegar a implicar el cambio del mercado de destino (local a nacional, nacional a internacional), con el correspondiente aumento en el valor de la captura.

#### 1.3 Menor costo de mantenimiento de embarcaciones

Las embarcaciones sufren menos daños en las operaciones de atraque, carga y descarga, con el consiguiente ahorro de recursos y mayor vida útil de las embarcaciones.

#### 1.4 Ahorro de tiempo de espera

Por la mayor seguridad que brinda el puerto, disminuye el tiempo de atraque y descarga, lo cual se refleja en menores costos operativos de las embarcaciones y liberación del tiempo de los pescadores, o en mayor tiempo disponible para la pesca, lo que sea más rentable.

#### 1.5 Guarda de equipos

Si el proyecto incluye este tipo de instalaciones, puede obtenerse un beneficio al disminuir los costos de traslado de los equipos (embarcaciones, aparejos). Este beneficio puede llegar a anularse si los pescadores usan sus vehículos para trasladarse ellos a sus hogares, con y sin equipo.



## 2. COSTOS

Los costos de inversión en el proyecto corresponden a los materiales de construcción, equipos, dirección técnica y contratación de mano de obra y maquinarias. 44

Además se incurre en costos operativos y de mantenimiento de las instalaciones durante la vida útil del proyecto, o horizonte de evaluación.

## 3. POBLACION ICTICOLA Y CAPTURA

En la actividad pesquera, la producción se deduce a partir de la disponibilidad del recurso ictícola y del nivel de la actividad pesquera sin y con proyecto.

Dado un nivel de recurso ictícola, población de peces, bajo determinadas condiciones de comportamiento biológico el nivel de captura está relacionado con el número de embarcaciones en actividad.

Los costos de la actividad pesquera están relacionados con el número de embarcaciones de tal forma que a mayor número mayor costo. Sin embargo el nivel de captura o pesca no presenta el mismo comportamiento.

Existen recursos naturales cuya propiedad no está definida de tal forma que nadie tiene derecho a usar el recurso natural a menos que lo capture. Entre este tipo de recursos se pueden citar, además del recurso pesca, a la caza, petróleo, agua subterránea, forestal, etc.

Estos recursos reciben en teoría económica el nombre de recursos fugitivos. La diferencia con los bienes públicos consiste en que el consumo del recurso fugitivo por parte de una persona excluye el consumo por otras.

Como se puede apreciar los recursos fugitivos son libres para quien lo explota o captura, al no existir un derecho de propiedad.

Además desde el punto de vista individual el stock de recursos existente no tiene ningún valor para el individuo que lo explota. Esto se debe a que para disponer del bien es necesario capturarlo y mientras no lo capture ese recurso puede ser extraído por otros.

Si quien realiza la extracción o captura pudiese acceder a un derecho de propiedad del recurso, el inventario existente tiene un costo de oportunidad distinto de cero para la decisión de cuánto extraer.

Ese costo de oportunidad se debe a la relación que existe entre el costo de extraer el recurso natural y el stock existente.

En el caso de peces no migratorios donde cada área puede tratarse en forma independiente, el análisis económico de este recurso natural es similar al del agua subterránea.

La relación entre el nivel de extracción y el stock existente puede darse a través de relaciones biológicas, donde el

crecimiento de la población depende del stock existente. Si la pesca excede el crecimiento biológico se produce una disminución de la población, lo cual hace aumentar el esfuerzo de pesca, medido a través de la mayor cantidad de recursos que es necesaria para obtener el mismo nivel de pesca.

Con una menor población ictícola se deben recorrer mayores distancias para lograr el mismo nivel de pesca.

Si se mide la cantidad de recursos asignados a la pesca por el número de botes pescando, se puede analizar cuál es el número óptimo de botes desde el punto de vista de la comunidad.

Cada bote adicional que se agrega implica asignar más recursos a la explotación pesquera. Por razones de simplicidad se puede suponer que los costos adicionales de incorporar un bote son iguales para todos los botes.

Sin embargo desde el punto de vista de la pesca se produce una situación diferente. A partir del nivel que la captura excede el crecimiento de la población de peces, por cada bote adicional que se agrega se obtiene cada vez menos pesca.

Pero también se produce un efecto económico importante debido al carácter de bien fugitivo que tiene el recurso pesquero. Dada la relación entre la captura y el stock decreciente de la población, la captura total, de todos los pescadores, crece menos que la captura del bote adicional que se incorpora.

Ese bote captura no sólo peces adicionales sino peces que otros dejan de pescar por su presencia. El pescador adicional se guía por su pesca para decidir cuántos recursos destinar a la pesca, mientras que la sociedad obtiene, por esa misma cantidad de recursos, una cantidad adicional de peces menor que lo que trae ese bote.

Esa diferencia lleva a que al no estar definido el derecho de propiedad sobre el recurso pesquero, los incentivos privados producen una sobre explotación del recurso disponible.

Si se logra definir ese derecho de propiedad, quien explote el recurso tendrá en cuenta el efecto que produce sobre la captura total la incorporación de nuevos botes.

Esa definición puede realizarse a través del otorgamiento de una concesión de explotación del recurso pesquero. Esa concesión genera una renta a quien la obtiene, la que se mide por el beneficio neto máximo que se produce en el nivel de pesca para el cual el valor de la captura adicional se iguala con el costo del bote adicional que se incorpora.

Esa renta tiene importancia para quien otorga la concesión, pues define el nivel máximo que se puede cobrar por la licencia al pescador, ya que por debajo de ese nivel continúa obteniendo un beneficio, es decir el proyecto pesca continúa siendo rentable para el pescador.

En el caso de peces migratorios desaparece la relación entre la población ictícola en un área determinada y el nivel de captura. En este caso la relación se puede mantener pero a un nivel más agregado y la licencia otorgada por un determinado país sólo asegura al pescador la exclusividad de pesca en el área concedida, pero el recurso ictícola continúa siendo un recurso fugitivo.

## II. METODOLOGIA DE PREPARACION

### A. ANTECEDENTES

Debe identificarse el proyecto con su localización, mapa del sector, actividad económica, población, condiciones climáticas, problema a solucionar.

Asimismo deben identificarse los aspectos institucionales y legales que pueden condicionar la realización del proyecto.

### B. DIAGNOSTICO

En primer lugar se debe analizar el nivel de servicio de la infraestructura actual, indicando las obras que existen, equipamiento instalado y condiciones de uso actual.

En cuanto a la demanda del servicio portuario, debe identificarse el número de embarcaciones que hace uso de la infraestructura y la frecuencia de las salidas.

Para poder estimar los posibles beneficios es necesario conocer el número de salidas por temporada y nivel de captura. Con esta información se puede realizar un diagnóstico que permita identificar el origen, magnitud y características del problema a resolver.

### C. ALTERNATIVAS TECNICAS

Se deben identificar las distintas alternativas que den solución a los problemas planteados y que sean técnicamente factibles.

Entre dichas alternativas técnicamente factibles se preseleccionan aquellas que sean compatibles con el tamaño del proyecto. Para esta preselección se puede partir de la información que brindan proyectos similares y los proveedores de equipos.

En esta identificación se deben explicitar las características principales de las alternativas preseleccionadas, al igual que sus costos de inversión y de operación y mantenimiento.

### D. PROYECCION DE BENEFICIOS Y COSTOS

En la proyección de los beneficios se deben considerar las características económicas del recurso y las relaciones que pueden existir entre la posible captura y el stock del recurso.

Para proyectar los costos durante el horizonte de evaluación

se deben considerar los costos de inversión del proyecto, inversiones de reemplazo y los costos operativos y de mantenimiento de las nuevas inversiones.

1/8

METODOLOGIAS DE EVALUACION Y PREPARACION DE  
PROYECTOS DE AGUA POTABLE RURAL

(BORRADOR PARA DISCUSION)

Roberto CORTEGOSO  
Consultor Proyecto  
EQG/87/001 DTCD-UN

I. METODOLOGIA DE EVALUACION

A. INTRODUCCION

En general una localidad rural corresponde a una unidad poblacional de definición imprecisa, con sus habitantes desarrollando tareas eminentemente agropecuarias, extractivas o pequeñas industrias muy incipientes.

Sus habitantes suelen disponer de escasos medios económicos y la familia produce fundamentalmente para su autoconsumo. Presentan una marcada dependencia de los centros urbanos más cercanos para los servicios de salud, educación y administrativos.

La dotación de infraestructura sanitaria, entre la cual se encuentra el agua potable, tiene por objetivo la población rural concentrada en pequeños poblados.

Este tipo de proyecto tiene por objetivo disminuir las tasas de morbilidad y mortalidad provocada por enfermedades de origen hídrico, como asimismo educar a la población rural respecto a sus hábitos en el uso del agua potable.

Los tipos de proyectos que se pueden presentar se refieren a la instalación del servicio o su mejoramiento o ampliación.

La instalación del servicio es el principal proyecto que se suele presentar. Comprende las obras de captación del agua, conducción, almacenamiento, desinfección y distribución, con sus respectivas conexiones domiciliarias, las cuales reemplazan a algún sistema de abastecimiento artesanal existente.

Los proyectos de mejoramiento, ampliación o reposición del servicio implican aumento de oferta del servicio de agua potable.

B. IDENTIFICACION DE BENEFICIOS Y COSTOS

1. BENEFICIOS

Los beneficios de un proyecto de provisión de agua potable a una localidad rural corresponden al ahorro de recursos, además de la mejora en el nivel de vida de sus habitantes.

En la medida que los usuarios tienen capacidad para reconocer los efectos sanitarios del uso del agua potable, los beneficios se reflejan en el mercado por la disposición a pagar por el agua potable.

Si los usuarios por falta de información no distinguen en agua potable y no potable, no es posible captar por el mercado esa mayor

disposición a pagar por la mejora en la calidad del agua.

En este caso se puede optar por considerar la provisión del agua potable como una necesidad básica, cuya dotación mínima debe asegurarse a los usuarios. De este modo el proceso de evaluación se concentra en el análisis de la minimización de costos de provisión del agua potable.

## 2. COSTOS

Los costos pueden ser de inversión y de operación, mantenimiento y administración. Los costos de inversión se producen en la etapa de construcción del proyecto, mientras que los costos de operación, mantenimiento y administración ocurren durante toda la vida del proyecto.

Las inversiones corresponden a las obras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución, incluyendo los reemplazos de equipos al final de su vida útil.

Si la captación es de una fuente superficial, deben realizarse obras de toma, sistema desarenador y obras civiles conexas.

Si se usa agua subterránea, la captación implica incurrir en perforación del pozo e instalación del equipo motobomba para la extracción, al igual que las obras necesarias para disponer de la energía, electricidad o combustibles líquidos.

Las obras de conducción implican llevar el agua desde la fuente hasta la planta de tratamiento.

Las obras de tratamiento se refieren al filtrado, cloración y eliminación de turbiedad del agua potable.

Para el almacenamiento y regulación se utilizan tanques de hormigón enterrado o semienterrado y estanques elevados respectivamente.

La distribución requiere cañerías maestras de distribución primaria y las conexiones domiciliarias.

La inclusión de las obras de distribución debe analizarse teniendo en cuenta la distribución espacial de la población. En la medida que se encuentre muy dispersa comienza a tener peso la alternativa de provisión mediante grifos públicos, con la consiguiente reducción de costos. En cambio si la población está concentrada aparecen las ventajas comparativas de las redes de distribución, al disminuir el costo de la red por usuario servido.

## C. MEDICION DE BENEFICIOS Y COSTOS

### 1. BENEFICIOS

Para medir los beneficios del proyecto debe analizarse si el proyecto sólo sustituye a fuentes alternativas de abastecimiento de agua potable o también aumenta la dotación de agua.

Cuando el proyecto reemplaza a otras fuentes de agua potable implica una liberación de recursos que se considera beneficio del proyecto. Por ejemplo si el agua potable antes del proyecto se obtiene desde localidades que tienen el servicio, el costo del agua más el costo de transporte se consideran beneficios del proyecto, en la medida que se liberan recursos.

Esta sustitución se produce sólo si el proyecto provee la cantidad original de agua potable a un costo menor para el usuario que el de la fuente alternativa.

Ese ahorro de recursos es válido siempre que se comparen alternativas de provisión del servicio de calidad semejante. La alternativa puede consistir en pequeñas obras de captación, estanque y algún sistema rudimentario de distribución a las viviendas.

Si el costo unitario de provisión de agua potable por el proyecto es menor que el de la alternativa, es de esperar que se produzca un aumento en la cantidad consumida.

La valoración de esa cantidad adicional implica usar un costo de oportunidad para los usuarios adicionales cuyo valor se encuentra entre el costo de provisión desde la fuente alternativa utilizada, límite superior, y el costo unitario (marginal) del agua potable provista por el proyecto, límite inferior.

## 2. COSTOS

Para la determinación de los costos del proyecto debe partirse del diseño de las obras.

Las normas de diseño de los servicios de agua potable recomiendan adoptar una dotación de agua comprendida entre 60 y 100 litros/habitante/día, la cual se debe compatibilizar con las condiciones climáticas de la zona, la capacidad de producción de la fuente de agua, razones técnicas, indicadores socio-económicos de la población a servir, etc.

A partir de la dotación diaria ajustada, se aconseja utilizar un coeficiente de gasto máximo diario entre 1.2 y 1.5 veces el promedio diario. Con el gasto máximo diario se obtiene el gasto máximo horario, para el cual se recomienda usar un coeficiente de 1.5 sobre el promedio horario implícito en el gasto máximo diario.

Si la fuente de agua es subterránea o se usa un tanque de elevación, razones técnicas aconsejan un uso máximo diario de 12 horas para las bombas, las cuales tienen una vida útil estimada de 10 años con ese factor de uso.

En cuanto al tamaño de los estanques de almacenamiento, su función de regulación exige una capacidad del orden del 15 a 20% del consumo máximo diario, para asegurar la continuidad del servicio. Esta magnitud supone la posibilidad de contar con una fuente de agua segura, como puede ser el caso del agua subterránea. En el caso del agua superficial, un río por ejemplo, es necesario tener en cuenta las variaciones estacionales de caudal para que el tamaño del almacenamiento

permita regular la dotación del agua potable.

5

Por último el diseño de las redes de distribución debe considerar el caudal máximo horario, tanto para la sección de las tuberías como para la presión de trabajo de las mismas.

En base a los antecedentes técnicos se determinan los costos de ejecución de las obras y los costos operativos de mano de obra, energía, cloración, coagulantes, al igual que los costos de mantenimiento y administrativos.

#### D. HORIZONTE DE EVALUACION

El horizonte de evaluación para los proyectos de agua potable rural se estima en 20 años, período que equivale a la vida útil de las obras del sistema. No corresponde considerar valor residual de las obras al final de este período, dados los materiales y equipos utilizados en estos proyectos.

### II. METODOLOGIA DE PREPARACION

#### A. ANTECEDENTES

Los antecedentes generales del área de influencia permiten conocer las variables que están relacionadas con el servicio de agua potable.

Debe identificarse la localización geográfica de la población a servir, con sus características geográficas e hidrológicas, vías de comunicación, características climáticas, servicios públicos y condiciones sanitarias existentes. En este aspecto se debe analizar la forma de abastecimiento actual de agua y disposición de excretas, número y localización de las viviendas, número de habitantes por vivienda, etc.

#### B. DIAGNOSTICO

Con los antecedentes disponibles se debe realizar un diagnóstico del área en el cual se propone instalar el servicio de agua potable.

Se identifica el sistema de abastecimiento actual, con el objeto de establecer su oferta en términos de capacidad de provisión, cantidades consumidas y costos de este tipo de abastecimiento para poder determinar el ahorro de recursos que implica su reemplazo.

También se debe determinar el estado de conservación de cada uno de los componentes del sistema, para poder estimar su vida útil residual.

El diagnóstico también cuenta con información sobre las posibles fuentes de abastecimiento de agua a partir de estudios hidrogeológicos previos. Si existe la posibilidad de conectarse a redes de servicios ya existentes, se debe contar con información sobre la factibilidad técnica de la conexión.



### C. ALTERNATIVAS TECNICAS

52

Si existen varias alternativas técnicas de provisión del servicio de agua potable y todas prestan el mismo nivel de servicio, beneficios, el análisis de las alternativas se reduce a comparar las alternativas para elegir aquella que minimiza el valor actual de los costos de inversión, operación, mantenimiento y administración.

### D. PROYECCION DE BENEFICIOS Y COSTOS

Además de determinar el consumo actual de agua potable y el posible déficit de abastecimiento actual, es necesario proyectar la evolución futura del consumo de agua potable de la localidad servida.

En dicha proyección debe tenerse en cuenta el crecimiento poblacional de la localidad servida y su nivel de ingreso.

Al variar la población año a año, la demanda se desplaza aumentando los metros cúbicos consumidos.

En la proyección de la situación con proyecto debe determinarse la cantidad a consumir en cada año.

Para la proyección de los precios del agua potable se tiene en cuenta el costo de la fuente alternativa al proyecto y el costo marginal del proyecto de producir una unidad adicional de agua potable.

Si no hay restricciones de capacidad ese costo marginal representa la asignación adicional de recursos en que incurre la sociedad para producir una unidad adicional de agua.

Si se tiene en cuenta ese costo marginal para fijar el precio del agua se logra producir la cantidad óptima de agua por período desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto, ya que la valoración marginal de los usuarios coincide con la asignación marginal de recursos para obtener el agua.

En la medida que el sistema comienza a presentar restricciones de capacidad se puede usar la tarifa para racionar el consumo hasta que se justifique económicamente el proyecto ampliación. Si no se usa el mecanismo tarifario, el racionamiento se presenta a través del deterioro del sistema que no puede proveer toda la cantidad demandada a las tarifas vigentes. Ese deterioro puede consistir en cortes del servicio o disminución de caudales entregados a la red.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**FUENTE: MIDEPLAN, INVERSION PUBLICA.**

**EFICIENCIA Y EQUIDAD (SANTIAGO DE CHILE, 1992)**

**METODOLOGIAS ESPECIALES**

**AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO**

**PALACIO DE MINERIA  
1995**

## Metodología de preparación y evaluación de proyectos de agua potable rural

### Introducción

En general una localidad rural corresponde a una unidad poblacional no bien definida, siendo las actividades predominantes de sus habitantes labores de carácter agrícola, extractivas, pecuarias o pequeñas industrias muy rudimentarias. Sus habitantes disponen de escasos medios económicos y generalmente la familia es la unidad de producción y consumo a la vez. Presentan una marcada dependencia de los centros urbanos más cercanos en relación a lo laboral, administrativo, educacional y asistencial.

El Censo efectuado en 1982<sup>1</sup> contabilizó en el país 11,3 millones de habitantes, de los cuales el 81% reside en zonas urbanas. Estos datos entregan una relación población urbana/población rural de 4,3 veces, tasa que ha aumentado notoriamente, en los últimos treinta años, ya que en 1960 era de 2,4 veces.

Respecto a la infraestructura sanitaria, cabe señalar que en Chile las coberturas de agua potable en zonas urbanas son altas; a fines de 1986 el 97% de la población urbana era abastecida, mientras que el 77% poseía instalaciones domiciliarias de alcantarillado.

Al referirnos a la infraestructura sanitaria en zonas rurales, se entiende como grupo objetivo la población rural concentrada.

El suministro de agua potable a localidades rurales se ha logrado mediante la ejecución de un Programa Nacional de Agua Potable Rural, iniciado en el año 1964, que incluye los Préstamos BID N° 74/TF-CH; 499/SF-CH y 393/OC-CH; lo cual ha permitido alcanzar una cobertura del 70% en las localidades rurales.

Los objetivos del Programa Nacional de Agua Potable Rural son:

- Disminuir las tasas de morbilidad y mortalidad provocada por enfermedades de origen hídrico.
- Lograr el mejoramiento de los hábitos y actitudes de la población rural con respecto al uso del agua potable.
- Promover el desarrollo económico, social e intelectual de las comunidades, a través de mejorar las condiciones sanitarias.

A través de la ejecución de proyectos de Agua Potable Rural, financiados con un nuevo Crédito convenido con el BID se espera alcanzar durante 1991, una cobertura del 84% para el sector rural concentrado.

Los servicios de agua potable construidos por este programa, son operados y administrados por entes comunitarios creados ad-hoc, y con la asesoría técnica de SENDOS.

### Objetivos de la metodología

La evaluación que se realiza para tomar la decisión de construir servicios de agua potable rural es social.

Para proyectos de agua potable rural es posible obtener el comportamiento de la demanda por agua potable, en base a datos reales de sistemas en operación, cuantificando así sus beneficios. Esto es posible porque en los servicios rurales, las tarifas responden a los costos de operación del sistema, lo cual se asemeja bastante a un criterio de tarificación en base a costo marginal.

La metodología ha sido elaborada por la Unidad de Planificación de SENDOS e implementada en un modelo computacional llamado EVAPRU (Modelo de Evaluación de Proyectos de Agua Potable Rural). Este modelo permite evaluar socialmente proyectos de instalación del servicio de agua potable en localidades rurales, en que no existe sistema de abastecimiento establecido y el

1. INE. Censo Nacional de Población. 1982

abastecimiento actual se realiza por norias, esteros, u otro sistema artesanal.

## Tipologías de proyectos

En general se pueden presentar las siguientes tipologías:

- Instalación del servicio
- Mejoramiento del servicio
- Ampliación del servicio
- Reposición del servicio

### Instalación del servicio

Es el principal tipo de proyecto que se presenta y comprende obras de captación, conducción, almacenamiento, desinfección y distribución; con sus respectivas conexiones domiciliarias y medidores, las que reemplazan a algún sistema de abastecimiento artesanal existente.

Por lo anterior, esta metodología está orientada a la preparación y evaluación de este tipo de proyectos, aunque también puede ser utilizada para proyectos de mejoramiento, ampliación y/o reposición, que implican aumento de oferta.

### Mejoramiento del servicio

Comprende la reposición de elementos en mal estado como conducciones, arranques, bombas para elevación, reacondicionamiento de captación y mejoramiento de estanques y obras eléctricas.

En muchos casos, en el mejoramiento integral del servicio se amplía la capacidad de producción. Ello implica efectuar además un análisis equivalente a un proyecto de ampliación: determinación de demanda futura, optimización del sistema actual y planteamiento del proyecto de ampliación.

### Ampliación del servicio

Su objetivo es ampliar el servicio, si en la etapa de diagnóstico se ha detectado déficit de oferta e infraestructura, lo que implica plantear e identificar el proyecto de ampliación en fuentes, conducciones, estanques, redes y conexiones.

### Reposición del servicio

Comprende la renovación total o parcial de obras existentes y en operación, con o sin cambio de la capacidad y calidad del servicio. Se genera cuando un sistema, o parte de él, ha cumplido su vida útil. Las obras de reemplazo pueden contemplar desde la construcción de una nueva captación hasta la construcción de la red de distribución.

## Teoría sobre la cual se basa la metodología

### Definición de costos y beneficios

Los beneficios de un proyecto de agua potable para una localidad rural, corresponden al ahorro de tiempo y de molestias, además de la mejora sustancial en el nivel de vida de sus habitantes. Dichos beneficios se reflejan en el mercado, a través de la disposición a pagar por el agua del potencial usuario.

Los costos corresponden a los de inversión y los de operación. Los primeros se producen en la etapa de construcción del proyecto. Por su parte, los costos de operación se registran a lo largo de la vida útil del proyecto, y son los que permiten el funcionamiento y la mantención del sistema.

## Identificación de beneficios

Los beneficios privados que se generan son aquellos beneficios monetarios, derivados del cobro de las tarifas de agua por el suministro a los consumidores.

Los beneficios sociales son aquellos que la comunidad y los consumidores perciben por el valor que asignan al agua suministrada. Ello se refleja en su disposición a pagar, por cada unidad marginal de agua consumida.

La medición de los beneficios sociales, o la disposición a pagar de los usuarios, se efectúa determinando el área bajo la curva de demanda, entre la cantidad consumida sin proyecto ( $Q_0$ ) y el consumo con proyecto ( $Q_t$ ). Para el cálculo, es posible distinguir dos casos, dependiendo si  $Q_0$  es menor o igual que el consumo asociado al precio límite ( $P_L$ ), es decir si  $Q_0 < Q_L$  o  $Q_0 = Q_L$ .

### Curva de demanda hiperbólica

Es posible suponer, que la curva de demanda por agua potable es de tipo hiperbólica y su ecuación es de la siguiente forma:

Demanda Individual:  $LCD = A \cdot P^e$

donde:

- LCD : dotación de consumo (l/h/día)
- A : constante que define la curva hiperbólica
- e : elasticidad precio de la demanda
- P : precio marginal del agua ( $\$/m^3$ )

Si la curva de Demanda agregada es del tipo:

$$Q = 0,365 \cdot P_{ob} \cdot LCD$$

$$Q = 0,365 \cdot P_{ob} \cdot A \cdot P^e$$

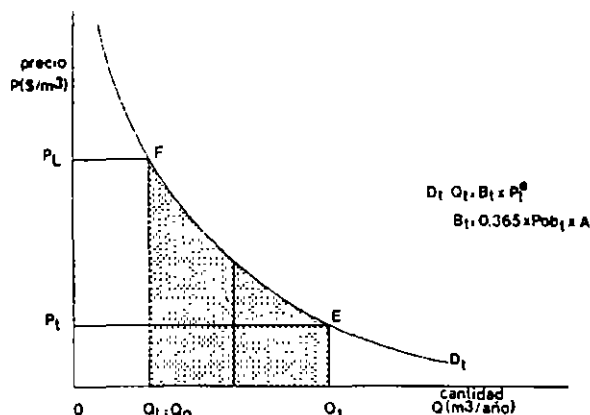
$$Q = B \cdot P^e$$

donde:

- Q = cantidad demandada ( $m^3/año$ )
- Pob. = Población abastecida (habs.)
- B =  $0,365 \cdot P_{ob} \cdot A$

Para  $Q_0 < Q_L$ : el beneficio está representado por el área  $GFEQ_tQ_0$  indicada en el Gráfico N° 1

Gráfico N° 1  
CURVA DE DEMANDA HIPERBOLICA  
para  $Q_0 < Q_L$



Para una curva hiperbólica, el área achurada está dada por la siguiente expresión:

$$BS_t = \left( \frac{1}{B_t} \right)^{(1/e)} \cdot W \left( Q_t^{(1/W)} - Q_0^{(1/W)} \right) + (Q_t - Q_0) \cdot PL$$

$BS_t$  = Beneficio social en el año t

$B_t$  =  $0,365 \cdot P_{ob_t} \cdot A$

$Q_L$  =  $B_t \cdot P_{L_e}$

$W$  =  $e/(1+e)$

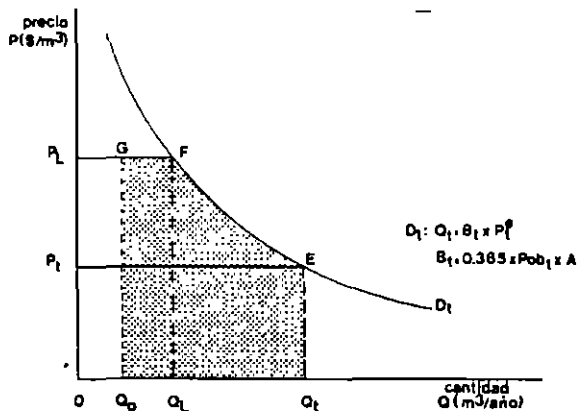
$P_{ob_t}$  = Población abastecida en el año t.

$e$  = elasticidad precio de la demanda

$P_L$  = Precio límite

Para  $Q_0 = Q_L$ : el beneficio está representado por el área  $FEQ_tQ_0$  del Gráfico N° 2

Gráfico N° 2  
CURVA DE DEMANDA HIPERBOLICA  
para  $Q_0 = Q_L$



$$BS_t = \left( \frac{1}{B_t} \right)^{(1/e)} \cdot W \cdot \left( Q_t^{(1/w)} - Q_0^{(1/w)} \right)$$

$BS_t$  = Beneficio social en el año t.

$D_t$  =  $B_t \cdot P_{te}$

$B_t$  =  $0,365 \cdot P_{ob_t} \cdot A$

Conceptualmente el precio límite, que es un parámetro que acota los beneficios del proyecto, representa la disposición máxima a pagar por disponer de agua, o el precio de la fuente alternativa de abastecimiento de agua.

Por otra parte, si el nuevo sistema provee las  $Q_0$  unidades de agua potable a un menor costo que en la situación sin proyecto, existirá una liberación de recursos que se considera como beneficio del proyecto y debe sumarse al beneficio calculado anteriormente.

Cabe destacar que el ahorro de recursos y la cantidad consumida  $Q_0$  son válidos siempre y cuando el sistema que se reemplaza es de calidad aceptable, y su ejecución significa realizar pequeñas obras como captación, estanque, y algún sistema rudimentario de distribución a las viviendas, o a pilones de fácil acceso.

Si existen sistemas alternativos como norias o vertientes, en que las personas van directamente con vasijas o recipientes a la fuente en búsqueda de agua; dichas fuentes no son consideradas competitivas con el agua y el servicio que aporta el proyecto. Por esta circunstancia, el ahorro de recursos no es importante y el valor de  $Q_0$  es nulo. Por consiguiente, el beneficio será el área total  $OP_LGF EQ_t$ , que equivale a la valoración total por el servicio de agua del proyecto, según la curva de demanda de los consumidores y que se indica en el Gráfico N° 1.

## Identificación de costos

### Costos privados

Son privados aquellos costos valorados a precios de mercado, correspondientes a la realización de estudios, diseños o pagos de insumos necesarios como materiales, máquinas, equipos y mano de obra, empleados en la materialización física de las obras del proyecto y en su operación.

Los precios incluyen todos los impuestos que gravan los estudios, diseños e insumos (máquinas, materiales y equipos); y para la mano de obra, las leyes sociales, premios, bonificaciones, etc.

### Costos sociales

En general, los costos sociales se deducen de los costos privados al descontar impuestos (o subsidios); corregir la componente importada de los insumos por el precio social de la divisa; descontar derechos de aduana; y corregir la mano de obra, según grado de calificación de acuerdo a los precios sociales de divisa y mano de obra recomendados por MIDEPLAN.<sup>2</sup>

### Horizonte de evaluación

El horizonte de evaluación considerado para evaluar proyectos de agua potable rural es de 20 años, y equivale al período de previsión para las obras del sistema. No corresponde considerar valor residual de las obras, ya que el tipo de material usado en conducciones, que es gran parte de la inversión, es PVC cuya vida útil aproximada es de 20 años.

En este horizonte se debe considerar el reemplazo de elementos que cumplen su vi-

2. Departamento de Inversiones MIDEPLAN "Procedimientos y formularios para el Sistema de Estadísticas Básicas de Inversión".

da útil, como por ejemplo bombas de elevación, equipos cloradores, etc.

## Indicadores de rentabilidad

Para los proyectos de agua potable rural se recomienda realizar las evaluaciones, privada y social, determinando como indicadores de rentabilidad el VAN y la TIR.

### Evaluación privada

En la evaluación privada los beneficios corresponden a los ingresos que recibe el ente administrador del Servicio, por concepto de venta de agua a la tarifa media fijada, más algún derecho de incorporación que paga el usuario, al conectarse por primera vez.

Los costos corresponden a las inversiones en obras que se realizan, excepto las que realicen los propietarios de las viviendas. Además, se incluyen los costos de administración, mantención y operación, atribuibles al proyecto en el horizonte de evaluación.

Llevando todos los valores anuales al año cero, mediante la tasa de descuento pertinente para el inversionista se determina el VAN cuya ecuación general es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i}$$

Determinando aquella tasa de descuento para la cual el VAN es cero se obtiene la TIR.

### Evaluación social

Una vez determinados los beneficios y los costos sociales del proyecto, año a año, a lo largo del período de evaluación, corresponde calcular los siguientes parámetros indicadores de rentabilidad social:

### Inversión Social Actualizada

$$I.S.A. = \sum_{i=0}^n \frac{VSI_i}{(1+r)^i}$$

$VSI_i$  = Valor social de la inversión correspondiente al año  $i$ . Incluye estudios e imprevistos

$n$  = Período de evaluación

$r$  = Tasa de descuento social

### Costo social actualizado

$$C.S.A. = \sum_{i=0}^n \frac{VSI_i + COMS_i}{(1+r)^i}$$

$C.O.M.S_i$  = Costo de operación total en el año  $i$ , valorado socialmente

### Beneficio social actualizado

$$B.S.A. = \sum_{i=0}^n \frac{BT_i}{(1+r)^i}$$

$BT_i$  = Beneficio social por disposición a pagar más el beneficio por liberación de recursos del sistema existente, en el año  $i$ .

### Valor actual neto, VAN

### Relación beneficio - costo, B/C

### Relación VAN/inversión, IVAN

### Tasa interna de retorno : TIR (%)

### Costo incremental actualizado, CIA

$$CIA = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{VSI_i + COMS_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{PROD_i}{(1+r)^i}}$$

$PROD_i$  = producción en el año  $i$

### Indicador de costo - eficiencia

$$CE = \frac{Frc \cdot I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{COMS_i}{(1+r)^i}}{Pob}$$

- $I_0$  = Valor social de la inversión  
 $Frc$  = Factor de recuperación del capital. Se recomienda usar el valor 0,1339  
 $Pob.$  = Población promedio beneficiada a lo largo del horizonte de evaluación

### Momento y tamaño óptimo

Para este tipo de proyecto, es posible calcular el momento y tamaño óptimo de ejecutar la inversión, aunque por la magnitud y montos involucrados al ejecutar los proyectos de Agua Potable Rural, en oportunidades, no se justifica su cálculo.

## Preparación de proyectos

### Análisis de antecedentes

Para este tipo de proyectos las principales fuentes de información son las Direcciones Regionales de SENDOS y los Servicios de Agua Potable Rural en operación.

Los antecedentes generales del área de influencia, permiten un conocimiento de aquellas variables, que si bien no están directamente relacionadas con el servicio de agua potable, dan un marco de referencia en el cual se efectuará y operará el proyecto.

Los antecedentes mínimos que deben señalarse son el nombre y ubicación de la localidad; características geográficas e hidrología de la región; calidad del terreno; vías de comunicación; características climáticas; actividades laborales predominantes; nivel de ingresos; organizaciones comunitarias existentes, servicios públicos y equipamiento de la localidad; urbanización y condiciones sanitarias existentes (forma de abastecimiento actual de agua y disposición de excretas);

antecedentes demográficos; número y tipo de viviendas de la localidad, etc.

### Diagnóstico

Una vez conocidos los antecedentes disponibles, se recomienda realizar un diagnóstico del área en el cual se propone instalar el servicio de agua potable.

Los principales puntos a considerar en el diagnóstico, dependiendo del tipo de proyecto son:

#### Instalación de servicio

En el diagnóstico se identifica el sistema de abastecimiento existente, a fin de establecer su oferta, las cantidades de agua que son consumidas y el costo de este tipo de abastecimiento para determinar el ahorro de recursos que implica su reemplazo.

#### Mejoramiento y/o ampliación del servicio

El diagnóstico se realiza por cada componente del sistema, identificando su estado y vida útil remanente. Se detectan los elementos a reemplazar; se analiza la oferta, actual y mejorada, con la optimización; se analiza y estima la demanda futura; y con estos antecedentes se formula el proyecto de mejoramiento y/o ampliación.

En muchos casos, en los proyectos de mejoramiento se reemplaza elementos que aumentan la oferta o capacidad del sistema, para cubrir futuras demandas de la población. Por ello, este tipo de proyectos se evalúa económicamente considerando los aumentos de capacidad.

#### Reposición del servicio

En el diagnóstico se verifica los elementos a reemplazar y se detecta algunos que



puedan ser utilizados en el proyecto de reposición.

El proyecto reposición puede incluir el reemplazo de algunos componentes (por ejemplo sondajes, tuberías, etc.), como también la totalidad del servicio. En este último caso la reposición contempla además, la ampliación del servicio, de modo de cubrir futuras demandas de agua (proyecto ampliación).

Cabe destacar, que en proyectos de abastecimiento de agua a localidades rurales, la fuente de agua que se incorpora al proyecto es conocida por un estudio previo (Estudio de fuentes). Si se detecta más de una fuente factible se plantean alternativas técnicas.

En general, las distintas alternativas técnicas se relacionan con el tipo de abastecimiento de agua: superficial, subterránea o ambas; o una conexión a redes de servicios ya existentes. Si la fuente es nueva, el estudio del proyecto se debe respaldar con un informe hidrogeológico del área. Si existe la posibilidad de conectarse a redes de distribución de servicios existentes, se debe verificar la factibilidad técnica, incluyendo copia del informe correspondiente.

El estudio de fuentes de agua debe incluir, además, los siguientes aspectos: análisis de aguas y factibilidad de suministro de energía eléctrica para los casos que se consulten instalaciones eléctricas, mecánica de suelos y otros.

### **Optimización de la situación actual**

La optimización del sistema existente incluye acciones como:

- Incorporación de los proyectos que la comunidad o entidad a cargo del servicio ha decidido ejecutar y cuya ejecución esté programada.
- Optimización del servicio, ejecutando inversiones marginales menores que permitan una adecuada mantención y operación del servicio existente.

- Aplicación de medidas administrativas factibles que mejoren la calidad del servicio entregado.
- Tarifificación.

La optimización puede aumentar la oferta de agua del sistema existente o mejorar la distribución de la misma oferta. Para fines de evaluación del proyecto mejoramiento y/o ampliación del servicio, dichas acciones deben considerarse, a fin de no sobreestimar los beneficios del proyecto.

En proyectos de instalación de servicios, no corresponde optimizar el sistema existente ya que éste se reemplaza (a no ser que se deje como sistema de emergencia).

### **Análisis y estimación de oferta y demanda**

La situación actual consiste en describir el sistema de abastecimiento existente, clasificándolo de acuerdo al sistema de obtención de agua; y además en determinar el costo o precio del agua puesta en la vivienda, y la cantidad demandada a ese precio. Dicho precio y cantidad se denominan "precio límite" y "cantidad límite".

Según se señaló para determinar la demanda se trabaja con curvas de demanda, determinadas en base a información de sistemas que están funcionando. El tipo de curva que mejor se ajusta es una curva hiperbólica, que tiene la siguiente forma:

$$\text{Demanda individual: } LCD = A \cdot Pe$$

$$\text{Demanda agregada: } Q = B \cdot Pe$$

Con el fin de reflejar de mejor forma el comportamiento de los diferentes consumidores, a lo largo del país, se han definido 6 curvas de este tipo. Ellas se determinan considerando la ubicación geográfica (región) y el nivel de ingreso de la localidad.

Para tales efectos, se ha dividido el país en tres zonas geográficas (norte, centro, sur) y se han identificado dos niveles de ingresos (bajo y aceptable). Para los grupos así definidos se han obtenido, en base a una muestra de pueblos, valores para las constantes y

elasticidades. Dichos valores se presentan en el Cuadro N°1.

Cuadro N° 1  
CONSTANTES A y e SEGUN ZONAS DE  
INGRESOS<sup>(\*)</sup>  
LCD = A · P<sup>e</sup>

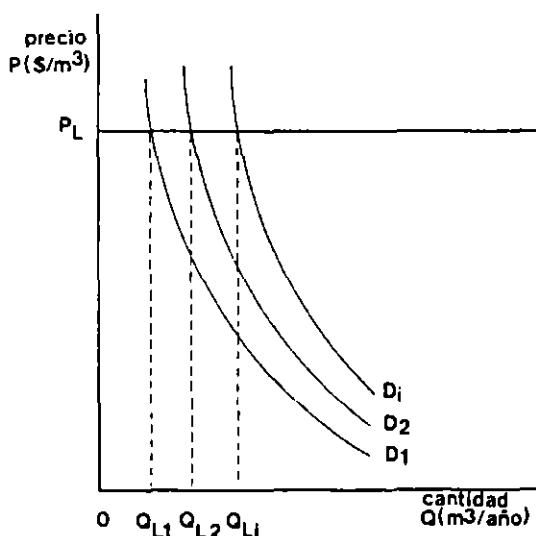
Zonas	Regiones	Nivel de Ingreso	A	e
Norte	I, II, III, IV	Bajo	91,71	-0,31
		Aceptable	112,13	-0,31
Centro	V, VI, VII, VIII, R.M.	Bajo	89,59	-0,31
		Aceptable	92,59	-0,31
Sur	IX, X, XI, XII	Bajo	98,27	-0,31
		Aceptable	157,11	-0,31

(\*) Valores referidos al IPC Base = 403,96 (04/1985)

En la proyección de la situación actual la variable relevante es la población y su tasa de crecimiento. Al respecto, se sugiere utilizar una tasa de crecimiento de 2% anual. No obstante, se podría modificar la tasa indicada, de acuerdo a lo observado en terreno u otro tipo de consideración, situación que debe explicitarse.

Año a año al variar la población, la curva de demanda se desplaza hacia la derecha, aumentando los m<sup>3</sup> de agua consumidos. El precio límite se puede considerar constante, para todo el horizonte de evaluación, o en casos justificados incorporar alguna variación. Gráficamente esta situación sería:

Gráfico N° 3  
CURVA DE DEMANDA HIPERBOLICA  
para Q<sub>0</sub> = Q<sub>L</sub>



en que:

- PL = Precio límite constante para todo el horizonte  
 D<sub>i</sub> = Curva de demanda agregada para el año i  
 Q<sub>Li</sub> = Cantidad límite para el año i

En la proyección de la situación con proyecto se debe determinar año a año la cantidad consumida y el precio.

### Determinación del precio

Para los servicios rurales se establece que el precio debe financiar la operación del sistema, incluyendo costos de administración, mantenimiento y de operación. Además, se exige que el precio sea suficiente para formar un fondo de financiamiento, para la reposición de equipos. Por ello, los costos de operación totales se amplían por un cierto factor S.

La tarifa media (P<sub>t</sub>) de un servicio puede escribirse como:

$$P_t = \frac{(1+S) \cdot CAOM_t - CARF_{it}}{Q_{tc}}$$

en que:

- CAOM<sub>t</sub> = Costo de operación total (operación, mantenimiento y administración) en año t (\$/año)  
 CARF<sub>it</sub> = Pago por concepto de cargo fijo que realizan los consumidores en año t (\$/año). Se determina con el número de conexiones existentes en el servicio y el cargo fijo mensual por usuario.  
 S = Factor de recargo que se imputa a los costos totales, para formar fondos de financiamiento de reposición de equipos.  
 Q<sub>tc</sub> = Cantidad de agua potable consumida (m<sup>3</sup>/año).

El valor del factor de recargo varía según el tipo de proyecto, y esto tiene relación con el tipo de conducción y/o conexión que presenta el sistema de abastecimiento a instalar en la localidad.

En el Cuadro N°2 se presentan los tipos de proyectos definidos y los respectivos valores de factor de recargo.

Cuadro N° 2  
FACTOR DE RECARGO SEGUN TIPO DE PROYECTO

Tipo de Proyecto	Factor de Recargo
Sistema de Elevación	0,35
Sistema Gravitacional	0,50
Conexión Sistema Rural Gravitacional	0,50
Conexión Sistema Rural con Elevación	0,35
Sistema Elevación Hidráulica	0,50

Los costos de administración incluyen todos los gastos administrativos en que incurrir el servicio para mantener operando el sistema, tales como: trámites, viáticos, útiles de oficina, sueldo contador, etc.

El costo de administración anual se calcula en función de la población abastecida a través de la siguiente relación lineal:

$$CA_t = N + M \cdot P_{ob} \text{ (\$/año)}$$

Los parámetros N y M varían según la región, según se aprecia en el Cuadro N°3.

Cuadro N° 3  
VALOR DE LOS PARAMETROS N Y M

Zonas	Regiones	Parámetros	
		N \$/año <sup>2</sup>	M \$/año/hab.
Norte	I, II, III, IV	25.392,62	65,92
Centro	V, VI, VII, VIII, R.M.	6.349,42	76,74
Sur			141,64

Pesos del 01.05.85 con IPC Base = 403,96 (04/1985)

Los costos de mantenimiento incluyen reparaciones menores, reparaciones de motobombas, materiales y mano de obra en que incurre el servicio para mantener el funcionamiento del sistema. El costo anual por este concepto se determina en función de la población abastecida y de la inversión inicial, a través de la siguiente ecuación:

$$CMT = a + b \cdot P_{ob} \text{ abastecida} + c \cdot \text{Inversión} \text{ (\$/año)}$$

Los parámetros a, b y c varían según el tipo de proyecto y se presentan en el Cuadro N°4.

Cuadro N° 4  
COSTOS DE MANTENIMIENTO,  
PARAMETROS a, b y c

Tipo de Proyecto	Parámetros		
	a	b	c
Sistema con Elevación	17,78	15.398,51	0,00192
Sistema Gravitacional	17,78	2.069,86	0,00192
Conexión Sistema Rural Gravitacional	17,78	2.069,86	0,00192
Conexión Sistema Rural con Elevación	17,78	15.398,51	0,00192
Sistema Elevación Hidráulica	17,78	2.069,86	0,00192

Pesos del 01.05.85 con IPC Base = 403,86 (04/1985)

Los costos de operación están formados por el costo de productos químicos (cloro) y el costo de energía eléctrica. Ambos dependen de la cantidad de agua producida.

Para estimar el costo en cloro se considera el valor del hipoclorito en pastilla, que es 0,45 (\$/ m<sup>3</sup>) (valor del 01.05.85), igual para todas las regiones.

$$C_{cl} = 0,45 \cdot Q_p$$

En que:

C<sub>cl</sub> = Costo del cloro

Q<sub>p</sub> = m<sup>3</sup> producidos al año t

El costo en energía eléctrica se determina a través de cargos por concepto de energía, potencia y cargo fijo.

Para estimar el costo de energía se determina el consumo anual por este concepto, utilizando la siguiente fórmula:

$$E_t = 0,006 \cdot Q_p \cdot H \text{ (KWH/año)}$$

en que:

E<sub>t</sub> = Consumo de energía en KWH/año

Q<sub>p</sub> = m<sup>3</sup> producido al año t

H = Altura de elevación de motobomba en mts.

Esta fórmula lleva implícito un rendimiento del 45% para las motobombas.

luego el costo será:

$$CE_t = 0,006 \cdot Q_p \cdot H \cdot P_e \text{ (\$/año)}$$

en que:

CE<sub>t</sub> = Costo energía

P<sub>e</sub> = Cargo por energía en \$/KWH

La potencia consumida está determinada por la siguiente expresión:

$$P = 22,2 \cdot \text{Cap máx.} \cdot H$$

en que:

P = Potencia requerida en KW

Cap máx. = Capacidad máxima de motobomba en m<sup>3</sup>/seg.

H = Altura elevación motobomba en mts.

luego el costo será:

$$\text{CPt} = 22,2 \cdot \text{Cap máx.} \cdot H \cdot \text{Pp} \cdot 12$$

en que:

CPt = Costo por potencia

Pp = Cargo por potencia (\$/KW/mes)

El costo por cargo fijo, por energía, corresponde a un monto fijo mensual (\$/mes), determinado por la Empresa que provee la energía eléctrica.

De este modo se tiene una ecuación del precio para cada año, que depende de la cantidad producida  $Q_{tp}$ .

### Determinación de la cantidad producida

En el estudio de la demanda se determinó una ecuación de la curva del siguiente tipo:

$$Q_{tc} = 0,365 \cdot \text{Pobt} \cdot A$$

Si se conoce o estima el nivel de pérdida del sistema se calculan los m<sup>3</sup> producidos mediante la siguiente relación:

$$Q_{tc} = Q_{tp} (1 - \text{Pérd})$$

$Q_{tc}$  = Caudal consumido en el año t.

$Q_{tp}$  = Caudal producido en el año t.

Pérd = Pérdidas en tanto por uno

### Determinación de la cantidad y precio de equilibrio ( $Q_t, P_e$ )

Se estiman mediante un proceso de iteración, partiendo de un precio de 15 \$/m<sup>3</sup> que representa, aproximadamente, el promedio de las tarifas de los servicios existentes. Con este precio se determina la cantidad consumida de la ecuación:

$$Q_{tp} = Q_{tc} (1 - \text{Pérd})$$

Este valor se reemplaza en la ecuación del costo del cloro y de la energía y se calcula  $P_t$  de la ecuación.

$$P_t = \frac{(1+S) \cdot \text{CAOMt} - \text{CARFit}}{Q_t}$$

Si el precio resultante es distinto de 15 \$/m<sup>3</sup> se utiliza el valor promedio de ambos valores de  $P_t$ , y se vuelve a iterar, repitiendo el proceso hasta que los precios coincidan.

Esta operatoria se repite para todos los años, obteniendo así la proyección de las cantidades consumidas, producidas y el precio o tarifa media correspondiente.

Según sea el momento en que se realice la evaluación social de un proyecto de agua potable rural, deben corregirse por IPC los valores de las constantes de regresión de la curva de demanda (A); los costos de administración (N y M); los costos de mantenimiento (a, b y c); el costo unitario del cloro (\$ 0,45/m<sup>3</sup>), cargo por energía; cargo por potencia y cargo fijo.

### Preselección de alternativas

La preselección de alternativas es opcional y dependerá de las alternativas y de sus correspondientes costos y beneficios.

Si existen varias alternativas y todas presentan los mismos beneficios, el trabajo posterior se puede simplificar, realizando una preselección según el criterio de mínimo costo actualizado.

Si se tienen varias alternativas, pero con algunos costos y beneficios comunes y otros distintos, se utiliza el criterio de máximo VAN relativo. Este consiste en determinar el VAN considerando sólo los costos y beneficios que difieren entre alternativas.

Seleccionada la alternativa, se debe avanzar del nivel de prediseño a un nivel de anteproyecto que permita una mayor precisión en la estimación de costos.

Las normas que conviene considerar al realizar el anteproyecto son:

## Normas de diseño

Para el diseño, se recomienda adoptar una dotación de agua comprendida entre 60 y 100 lt/hab/día, la cual se debe justificar de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona, la capacidad de producción de la fuente, razones técnicas, indicadores socio-económicos de la comunidad, problemas demográficos, etc.

El coeficiente adoptado para el gasto máximo diario puede considerarse variable entre 1,2 y 1,5 con respecto al gasto medio mensual.

Se recomienda usar como coeficiente de gasto máximo horario 1.5, respecto al gasto máximo diario.

Si la solución de abastecimiento consulta elevación mecánica se sugiere considerar 12 horas de bombeo. En estos casos la selección de la bomba se hace considerando un período de 10 años de vida útil.

Respecto al volumen de los estanques de regulación lo indicado es adoptar un valor comprendido entre 15% y 20% del consumo máximo diario, del año de previsión. El material, y la elevación de los estanques debe ser compatible con los planos tipo de SENDOS.

El diámetro de la red de distribución se calcula para el caudal máximo horario, del año de previsión.

Las presiones de trabajo de la red de distribución no podrán exceder las máximas presiones de trabajo de las cañerías utilizadas.

El rango de variaciones de la presión en la red será:

Máxima (estática): 40 metros

Máxima (dinámica con caudal máximo horario): 8 metros

Presiones fuera del rango indicado se podrán adoptar previa justificación y autorización del Departamento Técnico Nacional de SENDOS.

## Anteproyecto

El anteproyecto deberá incluir: memoria y especificaciones técnicas, planos, estudios especiales de ser necesarios; y anexos con cálculos hidráulicos.

En base a la información anterior, corresponde presentar un resumen de los costos de ejecución de las obras, incluyendo como anexos los precios unitarios utilizados.

Se recomienda presentar las inversiones agrupadas según las categorías definidas en Anexo N°1, con el fin de facilitar la transformación posterior a inversión social.

## Evaluación del proyecto

Para evaluar el proyecto, privada y socialmente, existe un modelo computacional denominado EVAPRU, basado en la metodología descrita para el cálculo de beneficios y costos.

El modelo es completo y entrega como resultado cuadros detallados de beneficios y costos por año, e indicadores de rentabilidad. No calcula el momento óptimo ni realiza sensibilización. Para sensibilizar los resultados puede reprocesarse el programa las veces requeridas, modificando las variables que se deseen. Por el fácil manejo se recomienda su uso.

## Descripción de beneficios y costos

En el informe de presentación de proyecto, se deben mencionar los beneficios privados y sociales según la metodología expuesta; y el detalle de los costos de las obras atribuibles a la optimización del sistema y al sistema en sí.

## Estimación de beneficios

Al usar el EVAPRU, el modelo calcula los beneficios privados y sociales, en una sola corrida de computador, con sus respectivas identificaciones.

Si el cálculo se hace manualmente, se deben presentar cuadros indicando el tipo de beneficio, cantidad y valor por año, para todo el horizonte de evaluación de proyecto.

## Estimación de costos

Al modelo EVAPRU se introducen costos de inversión privados; los costos de administración, operación y mantenimiento, son calculados internamente.

El modelo también efectúa las correcciones a precios sociales, de todos los costos según factores de conversión, por categoría de obra y de costo.

Si el cálculo de costos se hace manualmente debe recurrirse a las fórmulas, corrigiendo los parámetros de las regresiones a IPC de fecha de la evaluación. Los resultados deben presentarse desglosados en inversión, administración, mantención y operación (energía y productos químicos). La corrección a precios sociales se efectúa según señala el Anexo N°2.

## Cálculo de indicadores

El modelo EVAPRU calcula los indicadores de rentabilidad VAN, TIR, costo incremental promedio y otros.

Los resultados deben sensibilizarse respecto a cambios en las variables que más inciden en la evaluación del proyecto (privada y social).

## Beneficios y costos no medidos

Se debe entregar un listado de todos aquellos beneficios y costos que no pudieron valorarse.

## Conclusiones y recomendaciones

En esta sección debe incluirse las principales conclusiones del estudio y en forma específica, las recomendaciones que se sugieren.

## Factores externos al proyecto

Deberá indicarse todos aquellos factores externos al proyecto que condicionan los resultados obtenidos (procesos productivos y tecnología asociada, tecnología y tamaño óptimo, tamaño y mercado del producto e insumos, estacionalidad de los insumos, razones institucionales, de geografía física, economías o diseconomías externas, etc.).

## Financiamiento

Si corresponde, se deberá indicar los criterios utilizados para el financiamiento del proyecto y las instituciones que en él participan. Al mismo tiempo deberá indicarse los requisitos que se exigirán a las instituciones que participan en el financiamiento (carta compromiso del Gerente, del Alcalde, etc.).

## Presentación del documento

La presentación del proyecto o estudio resultante debe incluir al menos todos los puntos señalados en la sección **preparación de proyectos** de esta pauta, agregando un primer capítulo llamado "Resumen y Conclusiones" donde se presente una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de

modo que sea autosuficiente para entender todo el proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

Con respecto a la forma de presentación del documento que contiene el detalle del estudio de preinversión, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.
- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.
- Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con un número que se explicará a pie de página.

# Anexo N° 1

## Modelo de evaluación

### EVAPRU<sup>1</sup>

#### Descripción de las categorías de costos

CATEGORIA N° Nombre	DESCRIPCION
------------------------	-------------

#### A. Inversiones

1 Captación	1 Sistema subterráneo, incluye la habilitación completa del sondaje sin considerar el suministro e instalación del equipo motobomba.
2 Captación	2 Sistema superficial, incluye un sistema de barrera, toma lateral, cámara de válvulas, sistema de desarenador y obras civiles anexas.
3 Captación	3 Considera el suministro, transporte, instalación y prueba del grupo motobomba para la elevación de las aguas captadas.
4 Conducción	1 Conducciones o impulsiones con excavaciones en terreno tipo III en PVCC-6 y PVC C-10.
5 Conducción	2 Conducciones e impulsiones con excavaciones en terreno tipo III en cemento asbesto.
6 Conducción	3 Conducciones o impulsiones con excavaciones en terreno tipo III en acero galvanizado.
7 Caseta Comando	1 Corresponde a una caseta de comando tipo, para un sistema de captación subterránea, que se utiliza para la operación control e instalación del equipo.

8 Caseta Comando	2 Corresponde a una caseta de comando tipo, modificado, para un sistema de captación superficial.
9 Tratamiento	1 Sólo cloración. Para la desinfección se considera una unidad de clorador tipo convencional para estos sistemas.
10 Tratamiento	2 Filtración. Se considera el empleo de filtros a presión para la eliminación de la turbiedad, con agregado de coagulante.
11 Regulación	1 Corresponde a estanque semienterrado de hormigón armado.
12 Regulación	2 Se refiere a estanque elevado metálico.
13 Distribución	1 Cañerías instaladas en terreno tipo III de PVC clase 6.
14 Distribución	2 Cañerías instaladas en terreno tipo III de cemento asbesto.
15 Instalación Elec.	Corresponde a una instalación eléctrica tipo: tableros, elementos generales.
16 Pruebas	Se considera el caso típico normal con los ítems de Prueba de Conjunto, Mantenimiento, Operación y Materiales Adicionales.
17 Reposición	De equipo motobomba, que incluye suministro, transporte, instalación y prueba del grupo.
18 Estudios de Ingeniería y otros.	

#### B. Costos de Operación

19	Costos de Administración
20	Costo Mantenimiento
21	Costo Energía
22	Costo Productos Químicos



**Anexo No 2**  
**Estimación de costos**  
**sociales**

Cuadro No 1

**% DESGLOSE DE COMPONENTES POR CATEGORIA**

CATEGORIA COSTO	COMPONENTE IMPORTADO	MATERIALES y EQUIPO	IVA	DERECHO ADUANA	MANO DE OBRA		
					NO CALIFICADA	SEMI CALIFICADA	CALIFICADA
1. Captación 1	5.41	48.80	11.17	1.82	4.55	6.50	21.95
2. Captación 2	1.89	48.29	10.15	0.57	5.73	10.50	22.87
3. Captación 3	29.54	23.14	12.31	8.86	0.00	1.54	24.61
4. Conducción 1	13.13	13.48	5.97	3.94	24.23	13.21	26.04
5. Conducción 2	12.02	26.80	8.44	3.61	17.10	8.80	23.23
6. Conducción 3	4.29	53.37	11.80	1.29	5.75	3.14	20.36
7. Caseta Cdo. 1	3.75	50.58	8.67	1.12	3.18	10.32	22.38
8. Caseta Cdo. 2	3.40	50.92	8.67	1.12	3.18	10.33	22.38
9. Tratamiento 1	28.44	22.28	14.82	8.53	0.00	0.00	25.93
10. Tratamiento 2	4.47	55.84	12.23	1.34	0.61	1.53	23.98
11. Regulación 1	0.77	51.35	10.47	0.23	5.16	9.46	22.56
12. Regulación 2	3.27	29.48	13.28	0.98	4.95	8.25	39.79
13. Distribución 1	11.17	11.47	5.20	3.36	27.13	14.79	26.88
14. Distribución 2	12.13	27.05	8.53	3.64	16.30	8.89	23.46
15. Inst. Electrica	19.30	32.46	11.51	5.80	0.00	2.18	28.75
16. Prueba Conjunto	20.68	21.38	9.66	6.20	0.00	5.52	36.56
17. Reposición	29.54	23.14	12.31	8.86	0.00	1.54	24.61
18. Imp. y Otros	11.80	24.02	7.86	3.55	15.96	10.54	26.27
19. C. Administ.	0.52	1.63	0.66	0.15	1.33	71.45	24.26
20. C. Manten.	10.72	43.15	11.42	3.21	3.55	5.41	22.54
21. C. Energia	41.98	8.33	16.67	12.60	4.08	7.15	9.19
22. C. Prod. Químico	62.11	2.50	0.00	18.63	0.00	1.76	15.00

Cuadro No 2

**FACTORES DE CONVERSION**

AÑO	COMPONENTE IMPORTADO	MATERIALES y EQUIPO	IVA	DERECHO ADUANA	MANO DE OBRA		
					NO CALIFICADA	SEMI CALIFICADA	CALIFICADA
1986	1.1300	1.00	0.00	0.00	0.46	0.48	1.00
1987	1.1300	1.00	0.00	0.00	0.48	0.50	1.00
1988	1.1300	1.00	0.00	0.00	0.50	0.52	1.00
1989	1.1300	1.00	0.00	0.00	0.50	0.52	1.00
1990	1.1300	1.00	0.00	0.00	0.50	0.52	1.00

## Metodología de preparación y evaluación de proyectos de agua potable urbana

### Introducción

El objetivo del presente trabajo es presentar en detalle la metodología para la preparación y evaluación de los proyectos de Agua Potable Urbana. Cabe señalar que el desarrollo de las metodologías es un proceso dinámico, por lo tanto, lo que se entrega en este trabajo es una muestra del estado de desarrollo actual, existiendo siempre la posibilidad de mejorarla o completarla en aspectos que no se consideran actualmente: como por ejemplo, establecer una metodología que permita evaluar las mejoras en la calidad del agua potable en servicio.

### Tipologías de proyectos

En general, un sistema de abastecimiento de agua potable está compuesto por el siguiente conjunto de elementos:

- Captaciones (subterráneas o superficiales)
- Plantas elevadoras
- Plantas de Tratamiento
- Conducciones (impulsiones o aducciones)
- Estanques de Regulación
- Matrices
- Redes
- Conexiones domiciliarias

Dependiendo del efecto producido al incorporar algunos de estos elementos al sistema de abastecimiento de agua existente, se pueden originar las siguientes tipologías de proyectos:

### Instalación del servicio

Este tipo de proyecto consiste en dotar de un sistema de abastecimiento de agua potable a una localidad desprovista totalmente de éste.

Sin embargo, siendo el agua potable un bien imprescindible para el ser humano, siempre existe algún sistema de abastecimiento individual, es decir, por vivienda. Por lo tanto, este tipo de proyecto consiste en reemplazar un sistema individual por uno colectivo de mejor calidad, entendiéndose por calidad las características físico químicas del agua y la presión que entrega el sistema a los usuarios.

Respecto a las obras, la instalación de un servicio comprende desde una captación hasta la red de distribución, pasando por plantas de tratamiento, conducciones (si es necesario), estanques de regulación y plantas de elevación (si es necesario).

### Mejoramiento del servicio

Este tipo de proyecto tiene como objetivo aumentar la calidad del servicio ya existente.

Este aumento en la calidad se puede lograr con un mejoramiento en un elemento del sistema; por ejemplo, planta de tratamiento; o en varios a la vez, como en aquellos casos en que se realiza un mejoramiento integral del sistema. En muchos proyectos de mejoramiento se aprovecha de ampliar el sistema, dado que en este tipo de obras existen economías de escala, y generalmente aumenta la rentabilidad del proyecto "mejoramiento", al anexarle un proyecto de ampliación de capacidad.

En proyectos de mejoramiento las obras más típicas corresponden a la construcción de una planta de tratamiento, la construcción de un estanque de regulación y racionalización de las redes de distribución.

## **Ampliación del servicio**

Este tipo de proyecto consiste en aumentar la capacidad de abastecimiento de un servicio sin modificar lo existente. En este caso, ampliación significa la incorporación de nuevos usuarios, ya sea por aumento de cobertura del sistema o por mejor aprovechamiento de la red ya existente (aumento de utilización de la red actual).

Las obras más típicas en estos proyectos corresponden a la construcción de redes de distribución, conexiones domiciliarias y en algunos casos, nuevas captaciones que sirvan a los nuevos usuarios.

## **Reposición del servicio**

Este tipo de proyecto se caracteriza porque comprende la renovación parcial o total de un proyecto ya existente, con o sin cambio de la capacidad y calidad del servicio.

En general, este tipo de proyecto se genera cuando un sistema o parte de él ha cumplido su vida útil. Al igual que en el caso de proyectos de mejoramiento, casi siempre se realiza conjuntamente con un aumento de capacidad del sistema, de modo de aprovechar las economías de escala que se producen.

Por lo tanto, las obras pueden incluir desde la construcción de una captación hasta el reemplazo y la construcción de nuevas redes de distribución.

## **Teoría sobre la cual se basa la metodología**

Para la identificación de los costos y beneficios del proyecto que son pertinentes para su evaluación, es necesario definir su situación base optimizada o situación sin proyecto; la comparación de lo que sucede con proyecto versus lo que hubiera sucedido sin proyecto, definirá los costos y beneficios pertinentes del mismo.

Para la evaluación social o socioeconómica, interesa el flujo de recursos reales (de los bienes y servicios) utilizados y producidos por el proyecto. Para la determinación de los costos y beneficios pertinentes, la evaluación social definirá la situación "con" versus "sin" la ejecución del proyecto en cuestión. Así, los costos y beneficios sociales podrán ser distintos de los contemplados por la evaluación privada económica, porque: (1) los valores (precios) sociales de bienes y servicios difieren del que paga o recibe el inversionista privado, o (2) parte de los costos o beneficios recaen sobre terceros (el caso de las llamadas externalidades o efectos indirectos).

## **Identificación de costos**

### **Costos privados**

Corresponden a aquellos costos de insumos a precios de mercado e incluyen los ítems de estudios, diseños e insumos en materiales, máquinas, equipos y mano de obra, empleados para la materialización del proyecto. De igual modo, para la operación del proyecto los costos se valoran a dichos precios, e incluyen todos aquellos insumos necesarios para la puesta en marcha y operación del proyecto.

Los precios deben incluir todos los impuestos que gravan los materiales, maquinarias y equipos; y para mano de obra, las leyes sociales, premios, bonificaciones, etc:

Si se emplean insumos de la empresa ejecutora del proyecto, el valor de ellos queda determinado por su valor alternativo.

### **Costos sociales**

El costo de los insumos usados en la realización de estudios, diseños, construcción y operación del proyecto, debe valorarse a los respectivos precios sociales, deducidos de la

situación de oferta y demanda de sus mercados para las unidades físicas demandadas por el proyecto, considerando las distorsiones de los mercados producidas por la existencia de impuestos o subsidios.

En la práctica esta corrección se realiza para la tasa de descuento, mano de obra y divisa según las recomendaciones de MIDEPLAN<sup>1</sup>. Para los costos sociales de inversión y operación deben descontarse los impuestos IVA, derechos de aduana y otros impuestos específicos.

Como externalidad o costo indirecto se puede mencionar la disposición final de las aguas servidas crudas en cursos receptores (ríos, lagos, etc.), que ocasionan costos de difícil valoración (muerte de peces, restricción en los diversos usos del agua); y algunos costos intangibles como malos olores, mala estética, etc. Estos costos no los internaliza el proyecto, al no considerar la retribución (compensación) de este costo en él (como por ejemplo, la no construcción de un sistema de alcantarillado con tratamiento final de las aguas servidas).

## Identificación de beneficios

### Beneficios privados

Son todos aquellos flujos monetarios y/o económicos que se perciben por la venta del producto por período (cargos fijos y variables por venta de agua), adicionando aquellos por cobro de instalación de conexiones, cobros fijos por aporte a obras, prestaciones de servicios, y otros.

### Beneficios sociales

Los beneficios sociales de un proyecto de agua potable son aquellos derivados de una mayor oferta de agua para el consumo en el

área del proyecto, si es que existe escasez. También constituyen beneficios la sustitución de la fuente de agua, que el consumidor usaba y, que por efecto del proyecto es reemplazada por un sistema de producción más económico.

El beneficio del mayor aporte de agua se percibe por la mayor disposición a pagar de los consumidores en relación al precio cobrado por el proyecto (excedente del consumidor); y por el precio privado que percibe la empresa pública del proyecto por la venta de esas unidades de agua. Dicho de otro modo, el beneficio de estos recursos está representado por el valor de uso marginal de cada unidad de agua aportada por el proyecto, medido en las curvas de demanda de los consumidores.

Este beneficio se puede valorar a través de la curva de demanda individual de un consumidor (grupo familiar), que indica la relación entre el valor de uso marginal y su consumo de agua por período. Sin embargo, independiente del grupo consumidor que obtenga el agua adicional, y si no existen restricciones de compra de agua entre grupos de consumidores, se puede medir los beneficios de cada uno de los grupos de consumidores usando una curva de demanda agregada.

La demanda de agua de los distintos grupos de consumidores crece en el tiempo, debido a la incorporación de nuevos usuarios; y la disposición a pagar puede variar en el tiempo debido a las variaciones en el consumo per cápita (por factores de ingreso, tamaño de la familia, bienes complementarios), por lo cual se utiliza tres tipos de curva de demanda por grupos de consumidores, que simulan la disposición a pagar en función del consumo y su desplazamiento horizontal en el tiempo.

**Tipo 1:** De elasticidad precio-consumo constante a un mismo nivel de precios.

1. MIDEPLAN Departamento de Inversiones: "Procedimientos y formularios para el Sistema de Estadísticas Básicas de Inversión".

**Tipo 2:** De igual pendiente para distintos niveles de demanda y distintas elasticidades precio-consumo para un mismo consumo.

**Tipo 3:** De elasticidad precio-consumo constante para todas las curvas a precios y cantidades demandadas.

La curva tipo 1 es más adecuada cuando la demanda per cápita permanece estable en el tiempo, de modo que la demanda proviene de nuevos consumidores que se incorporan al sistema de agua. La curva tipo 2 considera la variación de consumo per cápita y en consecuencia la variación de disposición a pagar a cada nivel de precio, y es aplicable a grupos de zonas residenciales de países en desarrollo. La tipo 3 representa mejor el comportamiento de hogares en que predomina el consumo de agua dentro de las viviendas.

En los gráficos N° 1, 2 y 3 se muestran estas diferentes curvas.

Gráfico N° 1  
CURVA TIPO 1

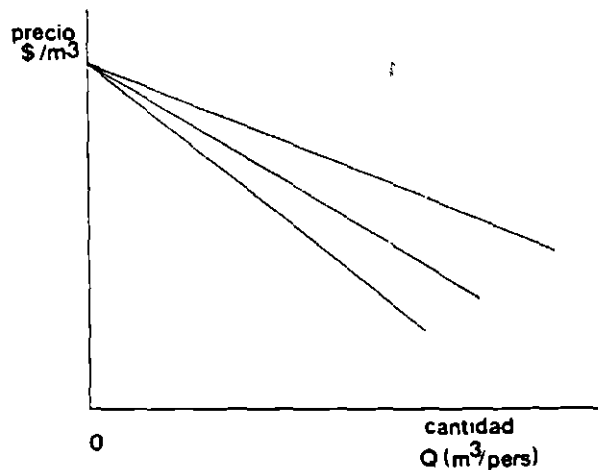


Gráfico N° 2  
CURVA TIPO 2

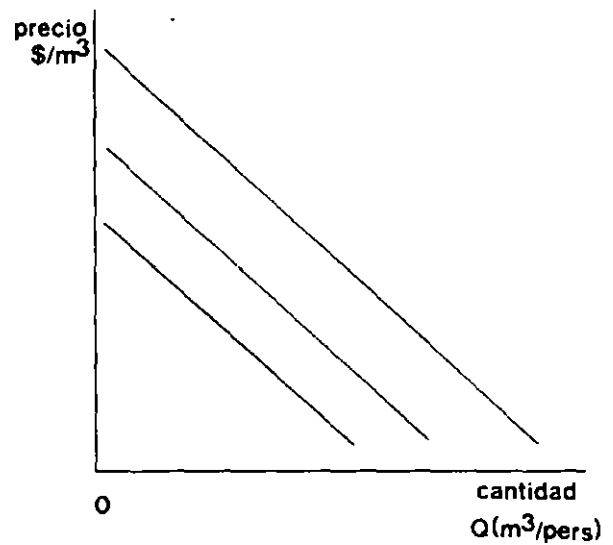
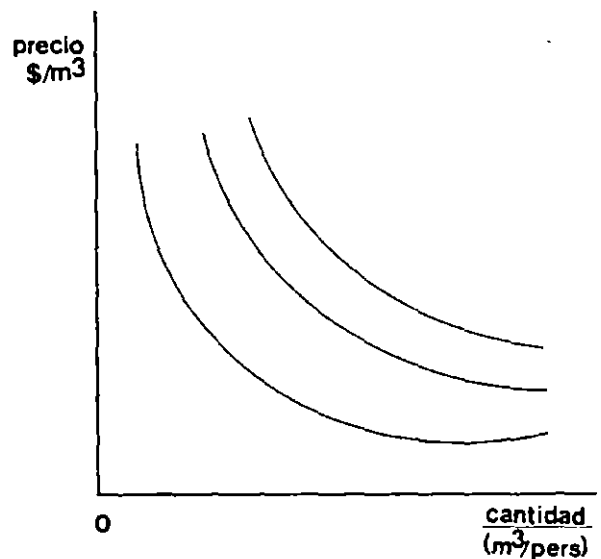


Gráfico N° 3  
CURVA TIPO 3



## Medición de los beneficios económicos en proyectos de agua potable urbana

### Beneficio económico para consumidores con restricción

El punto de partida para medir los beneficios cuando un proyecto de agua potable aumenta la capacidad existente, consiste en

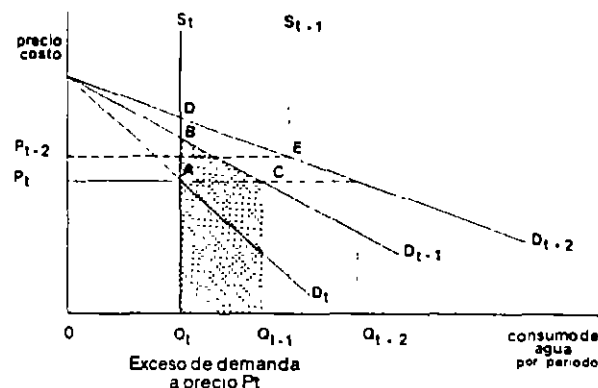
determinar lo que los compradores están dispuestos a pagar por el consumo adicional de agua antes de prescindir de él. A fin de lograr la máxima satisfacción, el agua deberá ser asignada de tal modo que todos los consumidores obtengan un valor igual en uso de la unidad marginal consumida. El valor en uso de toda unidad de agua es el monto máximo que el consumidor está dispuesto a pagar por esa unidad. El valor en uso marginal es el valor en uso de la última unidad consumida.

Respecto a un consumidor determinado, se parte del supuesto, que el valor en uso marginal disminuye a medida que consume más agua por período. Por consiguiente, la medición de los beneficios cuando un proyecto aumenta la capacidad, consiste en determinar lo que los compradores están dispuestos a pagar por el consumo adicional de agua antes que prescindir de él.

Un instrumento útil para mostrar la relación existente entre el valor en uso marginal del agua disfrutada por un consumidor y el consumo por período, lo proporciona la curva de demanda individual. Aunque el valor en uso marginal no se puede observar de manera directa, será igual al precio si el monto total gastado por un consumidor en el producto es bajo, comparado con el presupuesto total del consumidor. Si los consumidores no enfrentan restricciones a la compra de agua, y si resulta indiferente, cuáles sean los consumidores que obtienen el agua adicional, podemos medir los beneficios derivados de un incremento de la capacidad del sistema de abastecimiento de agua potable utilizando una curva de la demanda agregada de agua. En el Gráfico N° 4 se muestra el beneficio económico bruto del agua adicional consumida.

El gráfico muestra los beneficios económicos brutos del agua adicional consumida.  $D_t$  es la curva de demanda en el momento del período "t", en tanto que  $D_{t+1}$  y  $D_{t+2}$  representan curvas similares de la demanda de agua en fechas posteriores.  $S_t$  es la capacidad actual del sistema para suministrar

Gráfico N° 4  
BENEFICIO ECONOMICO DEL CONSUMO  
DE AGUA ADICIONAL



agua y  $P_t$  representa el promedio del precio del agua, excluidos los cargos fijos. En el período (t+1) los cambios en la población y las necesidades de agua per cápita se han desplazado hacia afuera lo que se traduce en un exceso de la demanda de  $(Q_{t+1} - Q_t)$  de unidades de agua al precio  $P_t$ .

El beneficio económico bruto en el período (t+1), de un programa de ampliación de abastecimiento de agua (expresado en la curva de la oferta del nuevo sistema como  $S_{t+1}$ ) viene dado por la zona  $Q_t ABC Q_{t+1}$ . La zona  $Q_t AC Q_{t+1}$  representa el ingreso adicional producido por las ventas de agua, en tanto que el triángulo ABC representa el excedente del consumidor asociado al consumo adicional de agua, es decir, lo que los consumidores están dispuestos a pagar por el consumo adicional de agua con respecto al que pagan en la actualidad.

En el período (t+2) la demanda agregada de agua es  $Q_{t+2}$ , partiéndose del supuesto que el promedio constante del precio del agua es  $P_t$ . Ahora bien, ese monto excede la nueva capacidad del sistema en la cantidad  $(Q_{t+2} - S_{t+1})$ . Con objeto de eliminar este exceso de la demanda, en el período (t+2), el organismo administrador del agua deberá emplear alguna combinación de racionamiento mediante el aumento del precio, o la imposición de restricciones cuantitativas al consumo de agua. En cualquier caso, la cantidad de agua consumida en el período

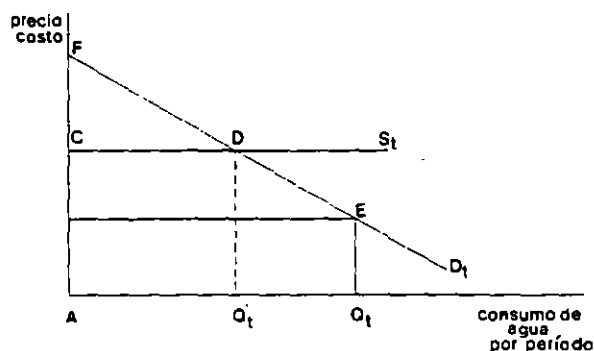
( $t+2$ ) es  $S_{t+1}$ , y si se supone que sólo se eliminan por racionamiento aquellos usos del agua que tienen un valor en uso marginal inferior a  $P_{t+2}$ , tenemos que el beneficio económico en el periodo ( $t+2$ ) es la zona  $S_tDES_{t+1}$ .

### Beneficio económico para consumidores que antes se autoabastecían

La medición del beneficio se altera ligeramente si parte del agua adicional suministrada por el proyecto, sustituye a la obtenida de otras fuentes. El gráfico N° 5 ilustra la situación.  $D_t$  representa la demanda en el periodo  $t$  de las unidades familiares a las que sirve, en la actualidad una fuente de abastecimiento de agua distinta de la del proyecto y  $S_t$  es el costo del suministro. Si esas unidades familiares no fueran a conectarse con el sistema público consumirían  $Q_t'$  unidades de agua en el periodo "t" a un costo de suministro de  $DQ_t'$  por unidad. Con el proyecto pagarían un promedio de precio de agua de  $P_t$  por unidad y consumirían  $Q_t$ . El beneficio económico bruto consta de dos partes: (1) las primeras unidades  $Q_t'$  de agua representan la sustitución de una fuente de agua por otra, y el beneficio es la liberación de recursos por la sustitución (es decir, la zona  $ACDQ_t'$  en el periodo "t"); y (2) las unidades familiares obtienen ahora el agua a un precio más barato, lo cual significa que aumentan su consumo de  $Q_t'$  a  $Q_t$  en el periodo "t". El valor de este consumo adicional es lo que los consumidores están dispuestos a pagar, antes que prescindir de ese consumo extra, es decir, es la zona comprendida en la curva de la demanda representada por  $Q_t'DEQ_t$ .

Si no se considera el hecho que una parte de la demanda agregada de agua procedería de unidades familiares, que han dejado de abastecerse de otra fuente, se sobreestiman los beneficios representados por la zona triangular  $CFD$  del Gráfico N° 5.

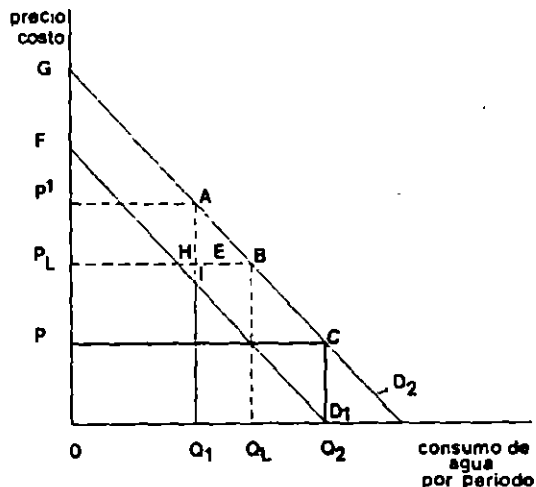
Gráfico N° 5  
BENEFICIO ECONOMICO SI EL PROYECTO SUSTITUYE AL AGUA DE OTRAS FUENTES



### Costo alternativo del abastecimiento como factor limitante de la medición de beneficios

Con objeto de no sobreestimar los beneficios económicos de los consumidores ya conectados al sistema de abastecimiento público de agua, es necesario determinar un precio límite para cada categoría de consumidores, por encima del cual resultaría más barato para ellos obtener agua de otras fuentes, antes que prescindir de ella. En el Gráfico N° 6 se muestra un ejemplo de ese tipo de ajuste.

Gráfico N° 6  
INTRODUCCION DE UN PRECIO LIMITE AL CALCULO DE LOS BENEFICIOS CORRESPONDIENTES A LOS USUARIOS DEL SISTEMA PUBLICO



$D_1$  y  $D_2$  representan las curvas de la demanda de un grupo determinado de consumidores. Al precio  $P$  en el período 1 el consumo es  $Q_1$ . El valor en uso agregado (la disposición a pagar) por consumir  $OQ_1$  unidades de agua en el período 1 es  $OP_LHIQ_1$ , no  $OFHIQ_1$ . La razón es que a precios superiores al precio límite  $P_L$ , el consumidor podría obtener agua adicional de fuentes opcionales, a un costo inferior al del sistema público. Por consiguiente, el costo de una fuente opcional de abastecimiento limita la voluntad agregada de pagar.

El precio límite también afecta a la medición de beneficios si se amplía la capacidad del sistema. Si el suministro de agua del Gráfico N° 5 es  $OQ_1$  sin el proyecto, y si no se considera el precio límite, el beneficio bruto de ampliar el sistema a  $OQ_2$  unidades en el período 2 corresponde a la zona  $Q_1ACQ_2$ .

Ahora bien, los consumidores no estarán dispuestos a comprar agua al precio  $P$  si la pueden conseguir de otra fuente a  $P_L$ . Por lo tanto, el consumo real en el período 2, sin la ampliación del sistema es el original de  $OQ_1$  unidades, más una unidad extra  $Q_L - Q_1$  obtenida de fuentes distintas. Así, el beneficio asociado a la ampliación del sistema se compone de dos partes: (1) el valor bruto del consumo adicional tomado del sistema público, indicado por la zona  $QLBCQ_2$ ; y (2) el valor del ahorro de recursos por el cambio del consumo de la fuente opcional de abastecimiento (a un costo de  $P_L$  por unidad) al sistema de abastecimiento público, o sea la zona  $Q_1EBQ_L$ .

El concepto del precio límite se relaciona con el de determinación de los beneficios correspondientes a las unidades familiares, que cambian al sistema público. Ambos se derivan del principio que la existencia de una fuente alternativa, de abastecimiento para una comunidad, establece un límite a lo que el consumidor estaría dispuesto a pagar por el producto básico antes que prescindir de él.

## Horizonte de evaluación

Para efectos de la evaluación económica de proyectos de agua potable, el horizonte de evaluación normalmente considerado es de 30 años.

En general, el horizonte de evaluación utilizado es menor o igual a la vida útil económica de las obras.

## Indicadores de rentabilidad

Para determinar la bondad de un proyecto de agua potable, ya sea privada o social, se emplea el Valor Actual Neto, que es la relación entre el Valor Actual de los Beneficios (VAB), y el Valor Actual de los Costos (VAC) del proyecto (VAB-VAC) en que:

$$VAB = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}$$

$$VAC = I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_{oi} + O_{ci}}{(1+r)^i} + \frac{Vr}{(1+r)^n}$$

en que :

- $B_i$  = Beneficio en el período  $i$
- $I_0$  = Inversión en el período 0
- $C_{oi}$  = Costos de operación en el período  $i$
- $O_{ci}$  = Otros costos en el período  $i$
- $VR$  = Valor residual de las obras al final del horizonte del proyecto (período  $n$ )
- $r$  = Tasa de descuento pertinente para la evaluación privada o social

Así el VAN = VAB - VAC

$$VAN = \frac{Vr}{(1+r)^n} + I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{B_i + C_{oi} + O_{ci}}{(1+r)^i}$$

Según se trate de evaluación privada o social, se definen los flujos de costos y beneficios pertinentes, determinando el VAN Privado, y el VAN Social, respectivamente. También se calcula la TIR Privada y la TIR Social.

## Momento óptimo de la inversión

Si se posterga la ejecución de un proyecto de inversión de agua potable, también se



postergan los beneficios que éste produce. Existe un período en que el VAN es máximo, indicando el momento óptimo de ejecutar el proyecto.

## Tamaño óptimo de la inversión

La determinación del tamaño del proyecto es una etapa posterior a la decisión de realizar la inversión y en qué momento. El tamaño óptimo del proyecto consiste en determinar aquel tamaño que maximiza el Valor Actual de los beneficios netos del proyecto. Esto es equivalente a determinar el período de previsión óptimo.

Por período de previsión se entiende el número de años, en que el proyecto cubrirá la demanda que se va generando. A partir de ese año en adelante, el sistema no tendrá capacidad para abastecer a los nuevos usuarios, que se incorporen sin deteriorar el servicio para los usuarios antiguos.

El tamaño óptimo de la inversión se obtiene cuando el valor actual de la inversión (costo) marginal es igual al valor actual del beneficio (ingreso) marginal:

$$\Delta C = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta BN_i}{(1+r)^i}$$

Existen proyectos que son divisibles en el sentido que su ejecución se puede ir cumpliendo por etapas.

Una de las ventajas de ejecutar proyectos divisibles es que permiten una mayor flexibilidad de acción, dando así oportunidad para corregir errores de diseño o de estimación en el crecimiento de la demanda.

Para los proyectos de agua potable, cuyos beneficios dependen principalmente del crecimiento de la población es pertinente hacer uso de esa flexibilidad, que permite la construcción "por etapas" del proyecto, o parte de él (por ejemplo estanques de regulación).

## Modelo para la evaluación económica

Para la evaluación privada el modelo es común a todo proyecto, y consiste en establecer el flujo neto de beneficios y costos, una vez deducidos los impuestos (para el caso de empresas), o el flujo neto bruto para el caso de entidades públicas.

Para la evaluación social de proyectos de agua potable, que disminuyen racionamiento o aumentan disponibilidad, se utiliza el modelo de simulación SIMOP desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo. Este programa computacional está estructurado conforme a la identificación y cuantificación de los beneficios sociales expuestos. Con él es posible diferenciar hasta 5 grupos de consumidores (pertenecientes y/o incorporados al sistema), en base a la definición de sus curvas de demanda con los parámetros iniciales de precio, demanda y elasticidad precio-consumo. Se definen ofertas del sistema para las situaciones sin y con proyecto; se proyecta la demanda para el horizonte de evaluación previamente definido, se define la política futura de precios, costos de inversión, operación, y otras variables.

El modelo da una aproximación inmediata de los resultados del proyecto: VANS, TIRS y Costo Incremental Promedio o Costo Marginal del proyecto. Permite obtener además el momento óptimo de la inversión y un análisis de sensibilidad de cada variable involucrada en el proyecto. Se recomienda su uso ya que es fácilmente operable.

## Preparación de proyectos de agua potable

Para la preparación de un proyecto de agua potable se debe tener presente dos aspectos del proceso: que no existe una "receta" para prepararlos. La otra, es que este proceso es iterativo, es decir, continuamente se debe estar revisando el planteamiento inicial del problema y estar abierto a cambios,

incluso en dichos planteamientos. Esto es natural ya que a medida que se avanza en el conocimiento del problema planteado inicialmente, se presentan nuevos antecedentes o parámetros que no se visualizan al comenzar el trabajo. Sin embargo, se pueden elaborar pautas que indiquen los principales aspectos que deben estudiarse para tener éxito en la preparación y posterior presentación de un proyecto. Los temas principales son el análisis de antecedentes, diagnóstico, optimización de la situación actual, proyección de la situación actual optimizada, alternativas de proyecto, proyección de la situación con proyecto, preselección de alternativas, anteproyecto de las alternativas preseleccionadas, beneficios, evaluación y estudio financiero y tarifario.

A continuación, se expone un breve desarrollo del contenido de estos temas, teniendo presente que cada proyecto presenta dificultades distintas, por lo tanto, el énfasis de algunos aspectos dependerá de cada proyecto.

## **Análisis de antecedentes**

Es recomendable que el inicio de la preparación de un proyecto de agua potable sea la búsqueda de antecedentes existentes sobre el problema a estudiar. Esto evitará repetir trabajo ya realizado y por lo tanto significará ahorro de tiempo y recursos.

Dichos antecedentes pueden consistir en estudios de prefactibilidad anteriores, estudios básicos de la zona en que se ubicará el proyecto, estudios de prefactibilidad relacionados con el problema, recopilación bibliográfica sobre el tema y, por último, entrevistas a profesionales expertos que tengan experiencia en este tipo de proyectos.

Las principales fuentes de información para disponer de los antecedentes indicados anteriormente son:

- Empresa de Servicios Sanitarios Regional; EMOS; ESVAL, V Región
- MIDEPLAN (Biblioteca)

- SERPLAC
- Municipalidades
- Universidades (memorias o tesis)
- Empresas privadas de Agua Potable

## **Diagnóstico**

Conocidos los antecedentes disponibles se recomienda realizar un diagnóstico del problema, que permita tener un conocimiento del área, de su población, del servicio de agua potable propiamente tal y de los servicios relacionados, por ejemplo: alcantarillado.

El objetivo principal del diagnóstico es identificar y establecer, en base a un conocimiento técnico, la magnitud actual del problema.

Los puntos principales a estudiar para el diagnóstico de un proyecto de agua potable son:

### **Antecedentes generales del área de influencia**

La importancia de este punto radica en que permite un conocimiento de variables, que si bien no están directamente relacionadas con el problema, dan un marco de referencia en el cual se efectuará y operará el proyecto.

Las variables a considerar son: población, nivel socioeconómico, ubicación geográfica del área de influencia, tipos de viviendas, otros servicios públicos que se ubican en el área, especialmente alcantarillado y aguas lluvias, etc.

### **Estudio de la oferta actual**

El estudio de la oferta actual consiste en realizar un análisis del servicio de agua potable existente, desde un punto de vista físico y operativo. Se pretende conocer en detalle la infraestructura que posee el servicio.

respaldada con la realización de planos si es que no existen.

Desde el punto de vista físico el análisis del servicio debe considerar la antigüedad del sistema, estado de conservación de las principales obras y algunos antecedentes técnicos como la longitud de la red, tipo de captación, tratamiento, número de estanques, número de plantas elevadoras y su potencia instalada (HP), número de medidores instalados y otros. Por otra parte, el análisis operativo debe entregar información de las capacidades de los principales elementos del sistema y su eficiencia.

Algunos de los antecedentes pertinentes de incluir son el volumen producido, volumen medido, volumen facturado, pérdidas y otros. Además se debe precisar la calidad del servicio, estudiando las características físico químicas del agua y la presión del agua en toda la red.

### Estudio de la demanda

Teóricamente, para conocer la demanda por agua potable de una localidad sería necesario un estudio acucioso del comportamiento de grupos de consumidores, con características homogéneas. Este estudio debería basarse en observaciones transversales y/o cronológicas, de modo de ajustar mediante métodos econométricos algún tipo de curva de demanda. Las variables explicativas a considerar serían el precio de venta de agua, el ingreso familiar, el valor de las viviendas, un índice de las precipitaciones, la densidad poblacional, la presión del agua, otros.

En la práctica, un estudio de esta naturaleza es complejo y costoso y en muchos casos imposible de realizar por falta de series de datos estadísticamente confiables.

En términos prácticos, para determinar la demanda actual se determina los grupos de consumidores de características homogé-

neas, considerando el tipo de consumo (residencial, comercial, e industrial) y el nivel socioeconómico de los consumidores residenciales.

La clasificación, según tipo de consumo, es fácil ya que está directamente relacionada con el tipo de conexión a la red (diámetro) de la vivienda.

Además, todos los servicios que proporcionan agua poseen información acerca del tipo de cliente. En general, es posible afirmar que el mayor porcentaje son residenciales (entre un 70 y 95%); por lo tanto, es este grupo el que se debe analizar con más detalle y agruparlos según nivel socioeconómico.

La separación por grupos socioeconómicos se justifica, ya que según el nivel de ingreso existen diferentes usos del agua. A mayor nivel de ingreso más intensiva es la utilización de agua para uso doméstico. Al consumo familiar básico se agrega, por ejemplo, el consumo de artefactos que pueden llamarse de lujo (lavadoras); y la demanda para consumo fuera de los hogares, tales como el riego de jardines y otros más sofisticados como llenado de piscina.

Según estudios estadísticos cada uno de estos grupos presenta distintas elasticidad-precio, siendo más elástico el uso del agua fuera del hogar, lo que implica que los grupos de ingresos más altos poseen curvas de demanda más elásticas que los grupos de ingresos bajos<sup>2</sup>.

Revisando los antecedentes de la facturación del último año, se determina la cobertura actual del servicio y la facturación promedio mensual por conexión, para cada uno de los grupos definidos.

Si existe déficit en el sistema, es posible obtener la demanda mediante una muestra de grupos de consumidores, por niveles socioeconómicos, y no afectos a déficit. Así se determinará su dotación de demanda y se extrapolará al resto de la población del sistema.

2. ODEPLAN realizó un estudio de demanda para determinar elasticidades por agua potable.

De esta manera se obtiene un punto de la curva de demanda por grupo de consumidores a la tarifa vigente, que indica los  $m^3$  totales consumidos a cierto precio (tarifa).

### Déficit actual

El déficit actual se determinará en base a la demanda obtenida, según lo señalado en el punto anterior, y la situación actual de consumo de la población, por grupos de consumidores.

La dotación de consumo actual se calcula a partir de la demanda promedio mensual por conexión, dividido por los habitantes por vivienda, estimados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), o por estudios en terreno a realizar para la respectiva localidad.

Con los resultados de estos cuatro puntos se está en condiciones de identificar el tipo de problema y sus efectos en la población.

Es importante determinar además, la eficiencia con que está operando el servicio, la que se puede establecer comparando la producción y la facturación, separando en lo posible las pérdidas del servicio y lo no facturado por falta de micromedición y por conexiones clandestinas.

Cabe destacar que pueden existir diversos problemas, por ejemplo, déficit de cobertura, mala calidad físico-química del agua, exceso de pérdidas en el servicio, falta de regulación que provoca racionamiento en horas peak, y otros.

### Optimización de la situación actual

La optimización de la situación actual o situación "sin" proyecto, se determina al introducir modificaciones a la situación actual:

- Incorporar los proyectos que la entidad a cargo del servicio ya ha decidido ejecutar o sean inevitables en su ejecución.

- Optimizar el servicio ejecutando inversiones marginales en reparaciones menores a modo de conservación del sistema.
- Aplicar medidas administrativas factibles, que mejoren la calidad del servicio, como programas de detección y reparación de conducciones y redes, a fin de disminuir fugas o pérdidas de agua, reposiciones de elementos de agua, etc.
- Tarificación.

Con la optimización se consigue que en la evaluación de los proyectos finalmente planteados, no se sobreestimen los beneficios atribuibles al proyecto, por considerar beneficios correspondientes a la optimización de la situación actual, ya que en la mayoría de los casos implica un cierto aumento de la oferta de agua del servicio.

### Análisis y proyección de la demanda

Para la proyección de la demanda se toma como base los valores de las variables de los últimos años.

Las variables que deben proyectarse son:

- Número y desglose, por tipo de consumidor, de conexiones residenciales, conexiones industriales, comerciales, fiscales y otras.
- Población abastecida y población no abastecida; por conexiones intradomiciliaria, conexiones industriales, comerciales, fiscales y otras.
- Población abastecida por pilones, norias y otros sistemas alternativos, que se incorporan al sistema regular gracias al proyecto.
- Consumo mensual por cada tipo de conexión, y consumo total anual, por grupos de consumidores identificados en el proyecto.
- Pérdidas del servicio. El nivel de pérdidas en la situación sin proyecto será el de la situación actual, mejorando sólo si

la optimización o el proyecto significa disminuirlas.

- Producción del servicio en  $m^3/año$ . Considerando el consumo ( $m^3/año$ ) y las pérdidas, se determina la producción total.
- Dotación de consumo y producción (lt/hb/día).

Por convención, el horizonte de proyección será igual al definido como horizonte de evaluación. Para proyectos de agua potable, generalmente, se consideran 30 años, que representan la vida útil de las obras que deben realizarse. En la práctica, las obras tienen una vida útil mayor que 30 años, sin embargo, proyecciones para períodos excesivamente largos no se justifican por la incertidumbre que ello significa. Además, la incidencia en el valor presente al actualizar con tasas de 12% en los valores es despreciable.

El aumento de consumos residenciales se proyecta considerando los siguientes aspectos:

- Tasa de crecimiento de la población.
- Porcentajes de cobertura a lograr con el proyecto.
- Planes de construcción de viviendas.
- Aumento o disminución del consumo por conexión, tomando en consideración la elasticidad-ingreso y la elasticidad-precio.

Los consumos comerciales se proyectan proporcionalmente al crecimiento de los consumos residenciales o utilizando otro criterio que debe fundamentarse.

Los consumos industriales se proyectan de acuerdo con el crecimiento de este rubro.

Se supone que los consumos públicos mantienen el mismo porcentaje respecto al total residencial. Si se utiliza otro criterio debe fundamentarse.

## Alternativas de proyecto

Deberán considerarse todas las alternativas técnicamente posibles de implementar, identificando cada una, con sus correspon-

dientes costos y beneficios. Las alternativas identificadas corresponderán a cada período de previsión prefijado (15, 20, 25 años).

De ser necesario se deberá realizar estudios específicos como, por ejemplo, levantamiento taquimétrico y/o nivelaciones; análisis físico-químico del agua; estudio hidrogeológico, específicamente si se trata de determinar nuevas fuentes; estudio hidrológico y balance del uso del agua, etc.

En este punto corresponde realizar un prediseño de las obras que permita estimar el costo de cada alternativa.

## Preselección de alternativas

El desarrollo de este punto es opcional y dependerá del tipo de alternativas y de sus respectivos costos y beneficios.

Si existen varias alternativas y todas presentan los mismos beneficios, se puede simplificar el trabajo posterior realizando una preselección utilizando el criterio de mínimo Costo Anual Equivalente.

Si se tiene varias alternativas, pero con algunos costos y beneficios comunes y otros distintos, se utiliza el criterio de máximo VAN relativo. Este consiste en determinar el VAN considerando sólo los costos y beneficios distintos de cada alternativa. Este criterio es válido sólo para la etapa de preselección.

Se recomienda sensibilizar los resultados de las alternativas.

Dependiendo de la complejidad de las obras y del costo total del proyecto, es necesario realizar el anteproyecto de las alternativas. Es posible que el prediseño realizado sea suficiente para después cuantificar los beneficios y evaluar.

De ser necesario el anteproyecto, éste debe incluir:

- Descripción de las obras físicas.
- Elección de materiales
- Elección de equipos y maquinarias.
- Detalle de la mano de obra.
- Expropiaciones.

- Predimensionamiento de las obras anexas.

En base a la información anterior se puede presentar un resumen de los costos de ejecución de las obras físicas, incluyendo como anexo el detalle de los precios unitarios utilizados.

Además, se debe presentar un calendario de la inversión, de acuerdo a la definición de las etapas de construcción. Se debe indicar criterios utilizados para definir las etapas de construcción.

Por último, en el anteproyecto se deberá incluir algunos estudios adicionales que respalden las alternativas planteadas, por ejemplo el comportamiento de la napa, realizando aforos de ser necesarios, estudio de mecánica de suelo y otros.

## **Análisis y estimación de la oferta**

En base al diagnóstico y al estudio de la oferta actual, se determinará, para cada componente del sistema, la captación, conducciones (aducciones), impulsiones, capacidad de los equipos de elevación y de las fuentes de recursos de agua (superficiales, subterráneas); estanques y matrices de distribución; además de la capacidad de cada una.

Si en la situación optimizada se considera alguna modificación o reemplazo necesario, debido a algún deterioro de su componente, se vuelve a reconsiderar la capacidad máxima en función del componente vigente, en orden ascendente. La oferta se expresará en litros por segundo y  $m^3/año$  consumidos, como capacidad máxima de venta. Según la situación optimizada existirá una proyección de la oferta en el horizonte de evaluación.

La oferta en la situación con proyecto, u oferta adicional aportada por el proyecto, queda definida según el período de previsión seleccionado y la alternativa técnica elegida.

## **Evaluación del proyecto**

### **Descripción de beneficios y costos**

Debe describirse todos los beneficios y costos atribuibles al proyecto (directos, indirectos e intangibles).

### **Estimación de beneficios por período de previsión**

#### **Beneficios privados**

Debe indicarse los métodos para estimar los beneficios privados asociados al proyecto. Se deberá incluir un cuadro indicando cada tipo de beneficio, cantidad y valor de éstos anualmente.

#### **Beneficios sociales**

Debe indicarse los métodos utilizados para estimar los beneficios sociales directos e indirectos, explicitando la forma utilizada en la cuantificación y valoración de ellos. Se deberá incluir cuadros anuales indicando los beneficios sociales identificados, cuantificados y valorados, según indica el modelo de simulación SIMOP.

### **Estimación de costos por período de previsión**

#### **Costos privados**

Se debe indicar los métodos usados para estimar los costos privados de la inversión, operación, y mantención. Se deberá incluir un cuadro con los costos detallados, por año.

## Costos sociales

Se debe indicar los métodos utilizados para estimar los costos sociales de la inversión, operación y mantención, incluyendo cuadros anuales con desglose de cada uno de ellos.

## Cálculo de indicadores por período de previsión

Determinar según sea el caso:

- Valor Actual Neto (VAN) privado y social.
- Valor Actual de Costos (VAC) privado y social.
- Costo Incremental Promedio (CIP).
- Determinar, desde el punto de vista económico, el tamaño óptimo del proyecto o el período óptimo de previsión.
- Determinar, desde el punto de vista económico, el momento óptimo de ejecutar el proyecto.
- Análisis de sensibilidad para la solución final elegida. Indicar las variables más relevantes del proyecto que requieran sensibilizarse.
- Si el proyecto ha utilizado el indicador de rentabilidad VAN, se sugiere determinar además la tasa TIR como una tasa de corte en la rentabilidad del proyecto.

## Beneficios y costos no medidos

Si es que existen se debe entregar un listado de todos aquellos costos y beneficios que no pudieron valorarse.

## Conclusiones y recomendaciones

En esta sección debe incluirse las principales conclusiones del estudio y en forma específica las recomendaciones que se sugieren.

## Elementos condicionantes del proyecto

Deberá indicarse todos aquellos factores externos al proyecto que condicionan los resultados obtenidos (procesos productivos y tecnología asociada, tecnología y tamaño óptimo, tamaño y mercado del producto e insumo, estacionalidad de los insumos, razones institucionales, de geografía física, economías o deseconomías externas, etc.). Deberá incluirse en este punto aquellas variables que presentan más problemas en su estimación, como también los problemas más comunes que presentan los proyectos en análisis.

## Financiamiento

Si corresponde, se deberá indicar los criterios utilizados para el financiamiento del proyecto y las instituciones que en él participan. Al mismo tiempo deberá indicarse los requisitos que se exigirán a las instituciones que participan en el financiamiento (carta compromiso del gerente, del alcalde etc.).

## Presentación del documento

La presentación del proyecto o estudio resultante debe incluir al menos todos los puntos señalados en la sección **preparación de proyectos** de esta pauta, agregando un primer capítulo llamado "Resumen y Conclusiones" donde se presente una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de modo que sea autosuficiente para entender todo el proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

Con respecto a la forma de presentación del documento que contiene el detalle del estudio de preinversión, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento

- del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.
- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.
- Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con un número que se explicará a pie de página.



# Metodología de preparación y evaluación de proyectos de alcantarillado urbano

## Introducción

Todo individuo en su quehacer diario, produce una cierta cantidad de residuos sólidos y líquidos que necesita eliminar de su entorno. Estos residuos por lo general, son contaminadores del medio ambiente, ya que parte de éstos son materias orgánicas que entran en descomposición, y además son portadores de microorganismos patógenos que producen enfermedades, tales como la tifoidea, diarrea, hepatitis y otras.

La cantidad de aguas servidas a eliminar está directamente relacionada con el tipo de abastecimiento de agua potable.

Si existe un sistema público de agua potable, el problema de eliminación de aguas servidas se agudiza aún más, ya que al disponer de agua potable existe un incentivo para mejorar las instalaciones sanitarias de las viviendas, lo que provoca un aumento en las aguas a eliminar.

En consecuencia, sobre cierta cobertura de agua potable, se hace indispensable contar con un sistema de alcantarillado.

Si una población no dispone de un sistema público de evacuación de aguas servidas, la evacuación de las aguas se realizará de dos formas, dependiendo de su uso: si se utiliza en quehaceres domésticos como lavar, cocinar u otros, se eliminará directamente en acequias o simplemente a la calle. El resto de las aguas servidas que contienen residuos humanos se eliminará en pozos negros o letrinas y, en muy pocos casos en sistemas de fosa-pozo absorbente.

En estas condiciones el peligro que significa para la salud de la población es alto; además de producir externalidades negativas

como malos olores, deterioro del terreno, moscas y otros efectos.

Los beneficios que generan los proyectos de alcantarillado son de difícil medición, ya que influyen en la salud y en la calidad de vida; aspectos que también dependen de otros servicios como agua potable, educación, alimentación, atención preescolar, etc.

En Chile y de acuerdo a la políticas de desarrollo, es dable suponer que es rentable socialmente realizar un proyecto de alcantarillado en una ciudad, cuando se cumplen ciertas características, como cobertura de agua potable, concentración de población y otros.

Por lo tanto, para los proyectos de alcantarillado se busca la alternativa de mínimo costo anual equivalente<sup>1</sup>.

## Tipologías de proyectos

Un sistema de alcantarillado público está compuesto principalmente por el siguiente conjunto de elementos:

- Redes
- Uniones domiciliarias
- Casetas sanitarias
- Colectores
- Plantas de elevación
- Colectores interceptores
- Emisarios
- Plantas de tratamiento de aguas servidas

Dependiendo del efecto producido al incorporar o mejorar algunos de estos elementos, se pueden distinguir los siguientes tipos de proyectos:

- Construcción de un sistema de alcantarillado
- Proyectos de instalación de redes de alcantarillado con uniones domiciliarias
- Aumentos de capacidad de colectores y/o interceptores existentes (instalación o cambio)

1. Para los proyectos de construcción o ampliación de la red de alcantarillado, MIDEPLAN está desarrollando una metodología de evaluación basada en indicadores de Beneficio-Costo.

- Plantas elevadoras de aguas servidas en colectores principales o emisarios de descarga
- Construcción o mejoramiento de planta de tratamiento de aguas servidas
- Construcción de emisario submarino

### **Construcción de un sistema de alcantarillado**

Estos proyectos consisten en dotar de alcantarillado a una localidad desprovista totalmente de este servicio.

En estos casos se debe considerar el proyecto completo, que va desde las redes de recolección hasta la evacuación final.

La evacuación puede ser en forma directa a un curso receptor, siempre que no cause daños por contaminación orgánica y/o biológica; o a un curso receptor previo tratamiento, si éste curso es insuficiente para autodepurar las aguas servidas.

### **Proyectos de instalación de redes de alcantarillado con uniones domiciliarias**

Este tipo de proyectos consiste en dotar de un sistema de alcantarillado, a parte de una localidad desprovista de éste, que se caracteriza por un predominio de familias en extrema pobreza.

Toda vivienda sin sistema público de evacuación de aguas servidas posee algún sistema de evacuación, que generalmente, es de baja calidad sanitaria, tales como pozos negros o letrinas. En algunos casos, existen sistemas de fosa-pozo (fosa séptica) cuyo costo de inversión es alto<sup>2</sup>. La fosa séptica proporciona un servicio de calidad equivalente al alcantarillado público. Sin embargo, por su costo, sólo familias de ingresos medios y altos lo construyen.

En proyectos de instalación de redes se debe considerar la ejecución de las uniones domiciliarias, para las familias en extrema pobreza, puesto que esta población no se conectará a la red, ya que no tiene los medios económicos para hacerlo y sus viviendas no poseen artefactos sanitarios.

Para las familias en extrema pobreza existen programas de financiamiento para la construcción de infraestructura sanitaria<sup>3</sup>, para asegurar el uso de la red pública por parte de dichos estratos socioeconómicos, el cual percibe una parte significativa de los beneficios de proyecto.

Finalmente, es importante verificar la capacidad de evacuación de aguas servidas del sistema, al cual se conectará la nueva red de alcantarillado, de modo de no provocar problemas a los usuarios del sistema existente.

### **Aumento de capacidad de colectores y/o interceptores existentes (Instalación o cambio)**

La realización de este tipo de proyecto, generalmente permite mejorar el servicio, aumentando la capacidad de los colectores que han excedido su capacidad de diseño, además de permitir incorporar a nuevos usuarios, mejorando la cobertura del servicio.

Al igual que en el caso de proyectos de instalación de redes, en proyectos de aumento de cobertura debe considerarse la evacuación final de las aguas servidas adicionales.

### **Planta elevadora de aguas servidas en colectores principales**

Generalmente, consiste en ampliaciones de plantas elevadoras ya existentes, las que debido al aumento en el volumen de aguas

2. Del orden de \$ 300.000 moneda promedio 1989

3. Programas de lotes con servicios y casetas sanitarias, financiados con recursos F.N.D.R., B.I.D, presupuesto municipal y aportes de los beneficiarios.

servidas no son capaces de elevarlas, hasta el punto de descarga.

También puede tratarse de proyectos de renovación, si la planta ha cumplido su vida útil.

### **Construcción o ampliación de planta de tratamiento de aguas servidas**

Se justifica ejecutar este tipo de proyecto si se detecta que los niveles de contaminación de los cuerpos receptores (lagos, lagunas, ríos o mar) han excedido los niveles máximos de contaminación permitidos, en las normas sanitarias, de acuerdo al uso del cuerpo receptor, respectivo.

### **Construcción de emisarios submarinos**

Este tipo de proyecto consiste en evacuar las aguas servidas a cierta distancia de la costa. Su ejecución se justifica cuando el nivel de contaminación de las aguas marinas ha excedido los niveles máximos permitidos, por las normas sanitarias, de acuerdo al uso del cuerpo receptor. Generalmente, un emisario submarino se construye en bahías con playas de uso recreacional.

La construcción de un emisario submarino puede realizarse en conjunto con la construcción de una planta de tratamiento de aguas servidas.

## **Teoría sobre la cual se basa la metodología**

### **Identificación de los beneficios**

#### **Beneficios privados**

Corresponden a los beneficios monetarios que recibe la empresa de agua, por la operación del proyecto. Proviene de ingre-

sos adicionales por concepto de cargo fijo por alcantarillado, cobrado a los nuevos usuarios del sistema; aportes de obras generales, por la incorporación de nuevos usuarios; y por el mayor consumo de agua potable, atribuible al uso del sistema de alcantarillado.

#### **Beneficios sociales**

No existe una metodología simple de aplicar que, permita medir los beneficios directos e indirectos, producidos por el mejoramiento de un sistema de alcantarillado, o por la construcción de un sistema de alcantarillado domiciliario a la población de una localidad.

En proyectos de instalación o ampliación de servicios de alcantarillado, como beneficio directo se genera un aumento en el consumo de agua de los consumidores; produciéndose además un beneficio derivado del ahorro de costos de mantención y limpieza de sistemas alternativos, de disposición de aguas servidas y excretas ( por abandono de sistemas como la fosa y pozo absorbente; y sistemas como letrinas y pozos negros ).

No existe metodología para poder cuantificar los beneficios de proyectos que abarcan el mejoramiento de la red de colectores, plantas elevadoras, y emisarios de descarga final, en una localidad. En su defecto, para un período de previsión prefijado, se recurre a seleccionar la alternativa técnico-económica de mínimo costo (menor costo anual equivalente), ya que todas ellas, en aproximación entregan beneficios similares.

Para proyectos de disposición final, como plantas de tratamiento y/o emisarios submarinos, los beneficios son difíciles de cuantificar, puesto que tienen relación con la reducción en las tasas de mortalidad y morbilidad de la población -en caso que las aguas del curso receptor sean usadas para riego de hortalizas, baño y recreación, pues a causa del proyecto podrán ser utilizadas sin riesgo para la salud humana-. Los beneficios intan-

gibles se relacionan con una mejor calidad físico-química y bacteriológica del curso receptor, que permite una mejor valoración del paisaje; y con una mejoría de las condiciones para la vida de flora y fauna acuática.

## Identificación de costos

### Costos privados

Son todos los costos en que incurre la empresa de agua o la entidad ejecutora del proyecto. Corresponden a los costos, valorados a precios de mercado, de los servicios que involucra la realización de estudios de factibilidad y diseños; y a los costos de los insumos necesarios para la construcción de las obras y operación del proyecto (mano de obra, materiales y equipos).

### Costos sociales

Son los costos directos corregidos por los precios sociales recomendados por MIDEPLAN en relación a la divisa, mano de obra y tasa de descuento<sup>4</sup>.

En general, el precio social de los materiales y equipos es neto de IVA y de derechos de aduana, y su componente importado se corrige según el factor de corrección de precio social de la divisa.

## Horizonte de evaluación

El horizonte de evaluación se define como la vida útil económica del proyecto de alcantarillado, la que es menor que su vida útil técnica. Si el horizonte de evaluación a utilizar es menor que la vida útil económica, debe estimarse un valor económico residual

de las obras, al término del horizonte de evaluación.

En general, las obras se diseñan para un período de previsión preestablecido. Para tuberías de alcantarillado, el período de previsión aconsejable es de 20 años. Dependiendo de la magnitud del proyecto, y para plantas de tratamiento de aguas servidas y emisarios submarinos, el horizonte de evaluación a utilizar es de 30 años.

## Indicadores de rentabilidad

En proyectos de instalación de servicios de alcantarillado es posible determinar el VAN y TIR (privado y social), ya que, según se mencionó, es posible cuantificar sus beneficios privados y sociales.

Para proyectos de mejoramiento y ampliación de redes de colectores de sistemas de alcantarillado, plantas elevadoras, emisarios, y disposición final, es posible determinar como indicadores el VAC o el CAE. Con este indicador es posible definir el índice VAC/Población, que expresa el monto invertido por habitante beneficiado con el proyecto.

## Preparación de proyectos

Para la preparación de un proyecto de alcantarillado hay que tener en cuenta que no existe una "receta" para su preparación, y que el proceso es iterativo, es decir, que a medida que se avanza en el conocimiento del problema planteado inicialmente, se presentan nuevos antecedentes o parámetros a considerar.

A continuación, se exponen los principales temas que deben estudiarse, en la preparación y posterior presentación de un proyecto, con un breve desarrollo de su contenido, teniendo presente que cada proyecto

4. MIDEPLAN Departamento de Inversiones. "Procedimientos y formularios para el Sistema de Estadísticas Básicas de Inversión".

presenta dificultades distintas, por lo tanto, el énfasis de algún aspecto dependerá de las características de cada proyecto.

## **Análisis de antecedentes**

Es recomendable que el inicio de la preparación de un proyecto de alcantarillado, sea la búsqueda de antecedentes existentes sobre el problema a estudiar. Esto evitará repetir trabajo ya realizado, y por lo tanto significará ahorro de tiempo y recursos.

Dichos antecedentes pueden consistir en estudios de prefactibilidad anteriores, estudios básicos de la zona en que se ubicará el proyecto, estudios de prefactibilidad relacionados con el problema, recopilación bibliográfica sobre el tema y, por último, entrevistas con expertos o profesionales que tengan experiencia en este tipo de proyecto.

Las principales fuentes de información para disponer de los antecedentes indicados anteriormente son:

- Empresa de Servicios Sanitarios Regionales; EMOS; ESVAL V Región
- MIDEPLAN (Biblioteca)
- SERPLAC
- Municipalidades
- Universidades (Memorias o Tesis)
- Empresas sanitarias privadas

## **Diagnóstico**

Conocidos los antecedentes disponibles se recomienda realizar un diagnóstico del problema, que permita tener un conocimiento del área, de su población, del servicio de alcantarillado propiamente tal y de los servicios relacionados. Especial énfasis requiere el estudio del sistema de agua potable, por su estrecha relación con el sistema de alcantarillado.

El objetivo principal del diagnóstico es identificar y establecer, en base a un conocimiento técnico, la magnitud actual del problema.

Los puntos principales a estudiar para realizar el diagnóstico de un proyecto de alcantarillado son:

## **Antecedentes generales del área de Influencia**

La importancia de este punto radica en que permite un conocimiento de variables, que si bien no están directamente relacionadas con el problema, dan un marco de referencia en el cual se efectuará y operará el proyecto.

Las variables a considerar son : población, nivel socioeconómico, ubicación geográfica del área de influencia, tipos de viviendas, otros servicios públicos que se ubican en el área, especialmente agua potable y aguas lluvias, etc.

## **Estudio de la oferta actual**

El estudio de la oferta actual consiste en realizar un análisis del servicio de alcantarillado existente, desde un punto de vista físico y operativo. Se pretende conocer en detalle la infraestructura que posee el servicio, información respaldada por realización de planos, si es que no existen.

Desde el punto de vista físico el análisis del servicio debe considerar la antigüedad del sistema, estado de conservación de las principales obras y su capacidad, descripción del tipo de sistema (sanitario, combinado, pluvial), área cubierta, longitud de colectores secundarios, colectores principales, interceptores, plantas elevadoras, plantas de tratamiento, emisarios y disposición final.

Desde un punto de vista operativo se deben determinar los caudales, características de las aguas servidas (domésticas, comerciales, industriales, etc). Si es necesario, deberán realizarse aforos y análisis de las aguas, especialmente en los cursos receptores.

Deberán determinarse los caudales de infiltración y entrada ilícita de aguas lluvias.

Finalmente deben indicarse las principales deficiencias físicas y operativas del sistema.

### **Estudio de la demanda**

Para determinar la demanda actual y futura, sin proyecto de alcantarillado, se requiere un estudio de la población servida, y por servir hasta el período de previsión. Para efectos de cobertura debe considerarse las metas preestablecidas por SENDOS.

Para determinar el volumen de aguas servidas por evacuar se deben seguir los siguientes pasos:

**Determinación de caudales medios y máximos de agua potable:** Considerando los valores de demanda de agua se calcula el consumo promedio por conexión, y aplicando a este consumo un factor de 1,3 se obtiene el consumo máximo diario; y multiplicando este último valor por un factor de 1,5 se obtiene el máximo horario. Estos factores deben ser tomados como referencia, siendo posible utilizar otros valores siempre que se justifiquen.

**Determinación de caudales medios y máximos de alcantarillado:** Para determinar estos valores se aplica el factor de recuperación 0,8 a los valores obtenidos para el caudal medio de agua potable. Este factor sirve de referencia, si se usa otro debe justificarse. Para el caudal máximo o de diseño del sistema de alcantarillado se utiliza el coeficiente de Harmon.

**Caudal de infiltración:** En algunos proyectos es importante considerar caudales de infiltración, ello depende de la superficie de la napa subterránea y del material de las tuberías. Este caudal se suma al calculado anteriormente.

También hay que considerar posibles infiltraciones de aguas lluvias al sistema.

### **Déficit del sistema actual**

Una vez determinados los caudales actuales de aguas servidas, se puede determinar el déficit actual del sistema, de acuerdo a la población actualmente servida.

Se recomienda realizar el análisis por áreas independientes, es decir, las que constituyen un subsistema, incluyendo la disposición final.

Con los resultados de estos cuatro puntos, se está en condiciones de identificar claramente el tipo de problema a solucionar con el proyecto; y sus efectos en la población y en el sistema de alcantarillado.

### **Optimización de la situación actual**

La optimización de la situación actual o situación sin proyecto se determina al introducir modificaciones a la situación actual:

- Incorporar los proyectos que la entidad a cargo del servicio ya ha decidido ejecutar y cuya ejecución está programada.
- Optimizar el servicio ejecutando inversiones marginales en reparaciones menores.
- Aplicar medidas administrativas factibles, que mejoren la calidad del servicio entregado.

Con esto se consigue que en la evaluación del proyecto finalmente planteado, no se sobreestimen sus beneficios, al no considerar convenientemente la optimización de la situación actual.

En oportunidades, con la optimización del sistema es posible que se solucione parte del problema y se postergue la ejecución del proyecto.

## **Análisis y estimación de oferta y demanda**

### **Proyección de la situación "sin proyecto"**

Para la proyección de la situación sin proyecto, se considera como base los valores de las variables de los últimos años, y en la proyección se deben incorporar las variaciones debidas a la optimización.

Las variables que deben proyectarse son:

- Número de conexiones de agua potable residenciales, industriales y comerciales. La proyección de conexiones se realiza considerando los proyectos de Agua Potable factibles de realizar en el período de proyección.
- Número de conexiones de alcantarillado residenciales, comerciales, industriales. La proyección de conexiones se realiza considerando los proyectos de alcantarillado factibles de realizar en el período de proyección.
- Población servida y no servida por uniones intradomiciliarias de alcantarillado.
- Dotación de consumo de agua potable (lt/hb/día) para la población servida con alcantarillado.

Para proyectos de alcantarillado el período de previsión generalmente se considera de 20 años.

El horizonte adoptado para la evaluación del proyecto es de 30 años, ya que para períodos mayores la evaluación se dificulta por la incertidumbre que significa, y su incidencia al calcular su valor presente es mínima.

### **Proyección de la situación "con proyecto"**

Corresponde proyectar las mismas variables indicadas en la situación sin proyecto, considerando el efecto que produce la ejecución del proyecto. Los consumos residenciales de agua potable, generalmente, aumen-

tan con la construcción de un sistema de alcantarillado público.

En el caso de la población en extrema pobreza al instalar las uniones domiciliarias y las casetas sanitarias, el consumo aumenta en forma importante; generalmente pasan de abastecerse en pilones, con dotaciones cercanas a 50 (lt/hb/día) a un abastecimiento intradomiciliario con dotaciones superiores a 100 (lt/hb/día).

## **Alternativas de proyectos**

Para el período de previsión prefijado deberán considerarse todas las alternativas técnicamente posibles de implementar, identificando cada una de ellas, con sus correspondientes costos.

De ser necesario se deberán realizar estudios específicos como levantamientos topográficos y/o nivelaciones, estudio hidrológico y balance del uso del agua, estudios de corrientes marinas, análisis de aguas y otros.

## **Preselección**

Si existe más de una alternativa, se procede a realizar una preselección con el método del Costo Anual Equivalente, realizando un prediseño de las obras, lo que permite estimar el costo de cada alternativa.

## **Anteproyecto de las alternativas seleccionadas**

Dependiendo de la complejidad de las obras y del costo total del proyecto, será necesario realizar el anteproyecto de las alternativas. Es posible que el prediseño sea suficiente. De ser necesario la realización del anteproyecto, éste debe incluir:

- Descripción de las obras físicas
- Elección de materiales
- Elección de equipos y maquinarias

- Detalle de la mano de obra
- Expropiaciones
- Predimensionamiento de las obras anexas

En base a la información anterior se presenta un resumen de los costos de ejecución de las obras, separado por componentes del sistema (redes, impulsión, emisario, descarga, etc.), incluyendo como anexo los precios unitarios utilizados.

Los proyectos pueden ser divisibles y construidos por etapas, situación determinada por razones técnicas y/o de financiamiento de las obras del proyecto. En todo caso, los proyectos separables deben ser evaluados como tales, a fin de no asignar beneficios que no corresponden.

También, en el anteproyecto se deberán incluir algunos estudios que respalden las alternativas planteadas, por ejemplo, comportamiento de la napa, aforos, estudios de mecánica de suelo y otros.

### **Selección de la alternativa de proyecto**

Además del criterio del Costo Anual Equivalente para seleccionar la alternativa, se utilizan algunos indicadores que dan una idea de la urgencia de realizar el proyecto.

A continuación se describen brevemente otros indicadores pertinentes para la decisión de ejecutar las tipologías de proyectos definidas:

**Proyectos de instalación de redes de alcantarillado con uniones domiciliarias:** En este caso además del análisis de beneficio-costos se considera:

- Población beneficiada directamente con el proyecto.
- Cobertura de agua potable y alcantarillado de la localidad, comuna y región.
- Grado de utilización real de la red de agua potable y alcantarillado.
- Características de estratificación social de las familias beneficiadas.

- Indicadores de salud, comparando indicadores de la localidad del proyecto con la región.
- Otros indicadores técnicos como las características del terreno, densidad de la población y otros.

**Aumento de capacidad de colectores y/o interceptores existentes (instalación o reemplazo):** Además del análisis de costo-eficiencia se considera:

- Cobertura de agua potable y alcantarillado de la localidad, comuna y región.
- Grado de utilización real de la red actual de agua potable y alcantarillado.
- Estratificación social de las familias beneficiadas.
- Indicadores de salud.
- Número de beneficiarios del proyecto.
- Número de usuarios perjudicados por la situación actual.

**Plantas elevadoras de aguas servidas en colectores principales:** En este caso sólo se considera el análisis de costo-eficiencia o mínimo Costo Anual Equivalente.

**Construcción o mejoramiento de plantas de tratamiento:** Además del análisis de mínimo costo y de determinación del Costo Anual Equivalente, se considera necesario realizar un estudio sobre las características de contaminación de los cursos receptores, y los usos posteriores de estas aguas.

**Construcción de emisario submarino:** Para proponer este sistema como solución a los altos niveles de contaminación de aguas servidas, se deberá realizar los estudios correspondientes y evaluar a mínimo costo las alternativas de solución. La construcción de un emisario submarino puede realizarse en conjunto con una planta de tratamiento de aguas servidas.



## Evaluación del proyecto

### Descripción de beneficios y costos

Debe describirse todos los beneficios y costos atribuibles al proyecto.

### Estimación de beneficios

#### Beneficios privados

Los beneficios privados derivados de la ejecución del proyecto deberán calcularse a través del flujo de ingresos monetarios en todo el horizonte de evaluación.

#### Beneficios sociales

Los beneficios se producen principalmente en la salud pública y en general, en el nivel de vida de las personas. Como se sabe, estos aspectos de la calidad de vida dependen de otros parámetros, además del alcantarillado.

Por lo tanto, en la actualidad para evaluar este tipo de proyectos se considera que todas las alternativas generan beneficios similares, lo que permite seleccionar la alternativa de mínimo Costo Anual Equivalente.

### Estimación de costos

#### Costos privados

Se deberá incluir un detalle de los costos de inversión, operación y mantenimiento, valorados a precios privados, y separados por componentes del sistema.

#### Costos sociales

Se deberá incluir un detalle con los costos de inversión, operación y mantenimiento, valorados a precios sociales, y separado por componentes del sistema.

### Cálculo de indicadores

Valor actual neto, VAN: para proyectos de instalación de redes de alcantarillado, con uniones domiciliarias.

Valor actual de los costos, VAC, y/o costo anual equivalente, C.A.E: para otros proyectos de alcantarillado.

### Análisis de sensibilidad

Se deberá realizar un análisis de sensibilidad de las variables más relevantes del proyecto y/o de mayor incertidumbre en su cuantificación.

### Beneficios y costos no medidos

Como anexo a la evaluación y determinación de los indicadores económicos, se deberá mencionar y explicar todos aquellos beneficios y costos, difíciles de cuantificar e incluir en la evaluación, y que se estime son importantes.

### Conclusiones y recomendaciones

En esta sección deben incluirse las principales conclusiones del estudio, y en forma específica las recomendaciones que se sugieren.

### Factores externos al proyecto

Deberán indicarse todos aquellos factores externos al proyecto que condicionan los

resultados obtenidos (procesos productivos y tecnología asociada; tecnología y tamaño óptimo; tamaño y mercado del producto e insumo; estacionalidad de los insumos; razones institucionales, de geografía física; economías o deseconomías externas, etc.)

## Financiamiento

Si corresponde, se deberán indicar los criterios utilizados para el financiamiento del proyecto y las instituciones que en él participan. Al mismo tiempo, deberá indicarse los requisitos que se exigirán a las instituciones que participan en el financiamiento ( Carta compromiso del gerente de la empresa, del alcalde, etc. ).

## Presentación del documento

La presentación del proyecto o estudio resultante debe incluir al menos todos los puntos señalados en la sección **preparación de proyectos** de esta pauta, agregando un

primer capítulo llamado "Resumen y Conclusiones" donde se presente una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de modo que sea autosuficiente para entender todo proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

Con respecto a la forma de presentación del documento que contiene el detalle del estudio de preinversión, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.
- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.
- Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con un número que se explicará a pie de página.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**FUENTE: MIDEPLAN, INVERSION PUBLICA.**

**EFICIENCIA Y EQUIDAD (SANTIAGO DE CHILE, 1992)**

**METODOLOGIAS ESPECIALES**

**EDUCACION Y SALUD**

**PALACIO DE MINERIA  
1995**

## Metodología de preparación y presentación de proyectos de educación

### Introducción

La Educación, según señala la Constitución Política de Chile es un derecho al cual tienen acceso todos los habitantes del país, definiendo el rol educativo en un contexto de igualdad de oportunidades y libertad de enseñanza.

El sistema educacional fomenta la iniciativa privada en la administración y financiamiento de la educación, a la vez de garantizar la igualdad de oportunidades a todos los chilenos orientando los recursos estatales hacia los más desposeídos.

El sistema se caracteriza por la administración descentralizada de los establecimientos educacionales, labor que se realiza a través de las Municipalidades y Corporaciones Privadas, radicando en el nivel central el rol normativo y fiscalizador.

La ejecución de proyectos de inversión en Educación tiene como objetivo contribuir a mejorar la infraestructura física del sistema educacional, adecuando sus instalaciones, para de este modo mejorar la atención prebásica, básica y media.

La inversión en capital físico se complementa, entre otros, con la aplicación de programas de innovación curricular, capacitación docente y supervisión. La aplicación de estos programas, junto a la entrega estatal de subvenciones que financian los costos de operación de los establecimientos, persiguen aumentar la eficiencia del sistema educativo.

En general, las iniciativas de inversión que realiza el Estado en infraestructura educacional, corresponden a aumentos de cobertura o mejoramiento del servicio educacional, es decir, ejecutando el proyecto se entrega un servicio, cuya rentabilidad social está avalada por las políticas sectoriales vigentes o por estudios ya realizados. En resu-

men, las tipologías usuales de proyectos de Educación corresponden a la inversión que se realiza principalmente en infraestructura, para proveer y mejorar el servicio educacional.

La educación tiene la particularidad de ser un bien de consumo y de inversión simultáneamente. La educación como inversión provee de un cierto stock de capacidad para generar ingresos en el futuro, por lo que constituye inversión en capital humano. El componente que se considera consumo satisface las preferencias del consumidor e indica en cuánto valora la sociedad la satisfacción que produce consumir los servicios de la Educación.

Además, todo proyecto de Educación genera externalidades, que son los beneficios que perciben los grupos de personas distintos de quien obtiene un mayor nivel educacional y por los cuales no es posible cobrar.

La evidencia empírica señala que el crecimiento del ingreso nacional no se explica totalmente por la tasa de crecimiento de los factores productivos tradicionales, tales como el mejoramiento en la calidad de los recursos productivos y en la adopción de nuevos procesos técnicos, atribuyéndose gran importancia al mejoramiento del stock de capital humano con que cuenta la economía.

A través del proceso educativo es posible generar un flujo adicional de conocimientos y destrezas que se agrega al stock de capital humano disponible en la economía. En la teoría del capital humano se considera a los individuos como poseedores de cierto stock de capital, equivalente al valor presente del flujo de ingresos derivados de su posesión.

La educación constituye un flujo de inversión en capital humano que, destinada a desarrollar capacidades productivas en los individuos, implica sacrificios de consumo presente (costos) y genera ciertos beneficios, siendo posible determinar su rentabilidad a través de la evaluación del proyecto en términos del flujo costo - beneficio.

Al evaluar proyectos de inversión en Educación se analiza, en general, idénticos

aspectos que al evaluar cualquier iniciativa de inversión; sólo que por las características particulares de este tipo de proyectos, la cuantificación monetaria de los beneficios atribuibles a su ejecución es compleja. La dificultad reside en cómo cuantificar los efectos de ejecutar el proyecto, al incrementar con ello los años de escolaridad de sus beneficiarios, y aún cuando existan tales antecedentes, subsiste el problema de su valoración monetaria.

La valoración de los beneficios producidos por la ejecución de un proyecto de Educación, se ha enfocado tradicionalmente hacia los beneficios directos, es decir, a la estimación de los cambios en la productividad de sus beneficiarios, medida por el mayor ingreso futuro que se obtendría al ejecutar el proyecto.

Para la cuantificación monetaria de los beneficios producidos por la realización de un proyecto de educación se requiere disponer de información respecto al perfil de ingresos futuros provenientes del trabajo, asociados a la permanencia de un individuo en el sistema educacional. Se requiere entonces de una matriz actualizada de ingresos provenientes del trabajo, asociados a un determinado número de años de permanencia en el sistema educacional.

La difícil cuantificación de los beneficios de un proyecto educacional por esta vía, hace aconsejable utilizar el criterio de costo - eficiencia para tomar decisiones en materia de inversión en educación. El análisis de costo - eficiencia requiere el previo establecimiento de las metas y objetivos concretos que se requiere del proceso educativo. Para el caso particular, del sistema educacional chileno, la utilización de este criterio de decisión se encuentra avalado por las políticas de desarrollo social que determinan que asignar recursos a la inversión en infraestructura educacional es conveniente y rentable socialmente, por cuanto incrementa el stock de capital humano de la economía.

## Preparación de proyectos

### Tipologías de proyectos

Las tipologías más comunes de proyectos de inversión en Educación corresponden a la construcción, reposición, ampliación y reparación de establecimientos educacionales que proporcionan ya sea atención prebásica, básica, media científico-humanista y/o técnico-profesional; y algunas combinaciones de éstos, como por ejemplo, reposición de la infraestructura existente con aumento en la cobertura de atención.

Los proyectos de construcción de establecimientos educacionales responden a la necesidad de crear infraestructura física destinada a proveer servicios de Educación en sectores poblacionales no atendidos anteriormente, o que por expansión de la población en edad escolar de dichos sectores, se ha producido déficit de atención educacional.

La ejecución de proyectos de reposición de infraestructura educacional corresponde a la reconstrucción o renovación parcial o total del servicio existente, afectando o no la capacidad de éste.

Con la realización de proyectos de ampliación de establecimientos educacionales se aumenta su capacidad de atención, siendo posible con ello aumentar el número de alumnos que accede al servicio educacional.

El objetivo de los proyectos de reparación es recuperar el deterioro ocasional experimentado por la infraestructura educacional existente, a través de la realización de acciones de mantención y mejoramiento. Consiste en la ejecución de obras menores como, por ejemplo, cambio parcial de tablas de piso, cambio total o parcial de planchas de cubierta, de puertas y ventanas.

## Aspectos principales

Se presentan a continuación los principales aspectos que debe considerarse al preparar un proyecto de inversión en Educación, tarea que debe realizarse previo a la formulación definitiva de un proyecto específico. Los beneficios que produce, invertir tiempo y recursos en definir y preparar adecuadamente un proyecto, en su etapa de análisis, hacen aconsejable utilizar como referencia los lineamientos que se señalan a continuación.

La formulación de proyectos de inversión en Educación tiene su origen en la identificación y definición de una idea mediante la cual se plantea una situación problema.

Conviene identificar la idea de un proyecto formulando preguntas apropiadas y pertinentes, de modo tal que permitan emitir un juicio primario respecto a la conveniencia y viabilidad de buscar soluciones a la situación problema detectada.

En general, la identificación de ideas de proyectos de inversión en Educación se realiza utilizando como base la información existente en la Secretaría Regional Ministerial, respecto a la situación educacional de una determinada zona, las pautas de preparación de proyectos del sector y las instrucciones que contiene el documento "Procedimientos y Formularios para el Sistema de Estadísticas Básicas de Inversión"<sup>1</sup>, que se emite anualmente y que entrega recomendaciones para la realización de los respectivos estudios de preinversión.

La idea de un proyecto debe ser fundamentada y precisada con antecedentes que puede proporcionar la SEREMI de Educación respectiva, la Municipalidad, la comunidad o institución que primariamente detectó el problema. Complementando la idea del proyecto, es posible disponer de mayores antecedentes que proporcionen mayor certidumbre respecto a la necesidad detectada y

que permiten mejorar y orientar la toma de decisiones al respecto.

En el resumen del diagnóstico de la situación actual se debe incluir una definición clara del problema que se propone solucionar, siendo conveniente además, investigar los orígenes de éste, a fin de plantear alternativas primarias de solución. Conviene abordar este aspecto en forma previa a la formulación de un proyecto específico, ya que en algunas oportunidades es posible obtener las mismas soluciones mejorando el uso de los recursos actualmente disponibles en vez de invertir en infraestructura; por ejemplo: contratar servicios de locomoción para permitir el acceso a los establecimientos existentes de los alumnos de sectores alejados, en vez de construir escuelas rurales aisladas.

## Diagnóstico situación actual

El resultado del diagnóstico de la situación actual resume la necesidad o situación problema detectada; dicho resumen debe adecuarse a las variables e indicadores solicitados en el estudio de preinversión respectivo, formulando de este modo un proyecto específico, en el que se presenta la solución a una situación problema detectada.

Con el propósito de determinar las necesidades que provee y satisface en la actualidad el sistema educacional existente, en el área de influencia del proyecto, se debe precisar los antecedentes de demanda y oferta.

El área de influencia de un proyecto de Educación corresponde al ámbito geográfico que incluye la red escolar -conjunto de establecimientos educacionales existentes- a la cual el alumno tiene o puede tener acceso. Para su definición se recomienda tener en cuenta variables como la distancia, topografía del sector, condiciones climáticas de éste, estado del camino y condiciones de accesibilidad, disponibilidad y frecuencia de los me-

1. Departamento de Inversiones, Ministerio de Planificación y Cooperación, MIDEPLAN.

dios de locomoción y todas aquellas variables que se consideren relevantes para su determinación.

### **Antecedentes de demanda**

En esta sección del estudio corresponde señalar cuantitativamente la información respecto a la matrícula del establecimiento, correspondiente al año anterior al cual el proyecto postula a financiamiento. Las cifras deben expresarse al mes de junio de cada año, mes para el cual se supone se ha estabilizado la matrícula y asistencia al establecimiento educacional. Ello además, facilita la comparación de antecedentes entre proyectos.

Se solicita señalar la matrícula total y desagregada por niveles, para el establecimiento objeto del proyecto, especificando además el número de turnos de funcionamiento. En aquellos casos en que el establecimiento deba funcionar y atender en un solo turno, explicitar las razones para ello. Al desagregar la matrícula por niveles de atención, se recomienda señalar información respecto al número de cursos; la matrícula de cada uno de ellos, la escolaridad y el número de profesores de estos cursos y los totales atendidos, para los turnos de la mañana y de la tarde, respectivamente.

Para el caso específico de los establecimientos localizados en sectores rurales, se recomienda indicar además, el número de cursos combinados que allí funcionan, la matrícula de cada uno de ellos, los grados que atiende cada curso y el número de profesores de cada uno.

Con el propósito de disponer de antecedentes respecto a la tendencia y estabilidad de la matrícula del establecimiento, conviene incluir información agregada respecto a la matrícula total del local escolar, durante los tres últimos años de funcionamiento de éste. Deberá señalarse además, antecedentes respecto a la población en edad escolar y la población total del sector o comuna objeto

del proyecto, incluyendo información respecto de las características y estabilidad de la población de la localidad -señalando expresamente las variables que determinan que la población sea transitoria- por ejemplo, debido a sus características y a la actividad económica y productiva que desempeña.

Se debe incluir además, la información y antecedentes existentes respecto al funcionamiento de otros programas en el establecimiento educacional, por ejemplo, Educación de Adultos y actividades extraprogramáticas.

### **Antecedentes de oferta**

Corresponde señalar en esta sección los antecedentes e información disponible respecto de las características de la planta física del local que se propone reparar, reponer o ampliar. Para ello se debe explicitar si el local escolar fue construido originalmente para escuela o funciona en un local adaptado, indicando además el propietario del edificio.

En los antecedentes de dimensiones actuales del establecimiento se debe señalar la superficie construida, total y por pisos; indicando además, por tipo de recintos-aulas, talleres, biblioteca, laboratorio, dependencias administrativas -el material predominante; señalando las características físicas y estado de los muros, cubiertas y pisos del establecimiento.

Para señalar el material predominante del edificio se recomienda considerar para su respuesta las siguientes denominaciones:

- A.M. Adobe macizo
- E.A. Estructura de madera rellena de adobe
- M. Madera
- A.L. Albañilería de ladrillo
- C. Concreto
- P. Piedra
- O. Mixto u otro material

Para indicar el estado, se recomienda considerar para su respuesta y, a modo de referencia, las siguientes denominaciones:

- B Buen estado físico, si sólo son necesarias acciones referidas a mantención, por ejemplo: reposición de vidrios, canales de aguas-lluvias tapados, pintura en mal estado, etc.
- R Regular estado físico, si el deterioro es recuperable a través de reparaciones menores o mayores, por ej.: cambio parcial de tablas de piso, cambio total o parcial de planchas de cubierta, de puertas y ventanas, de instalaciones de agua potable, alcantarillado, red eléctrica. etc.
- M Mal estado físico, si el deterioro es irrecuperable, si hay serios daños en la estructura de muros, techumbres, pisos.

Para los restantes establecimientos educacionales existentes en el área de influencia del proyecto, que corresponden a establecimientos municipales y particulares con y sin subvención, se recomienda señalar su localización e identificación precisa: nombre, código y localización, por ejemplo: Escuela G-517 Las Breas, especificando la escolaridad del establecimiento, grados de enseñanza que imparte, el número de turnos, la capacidad total de atención del establecimiento, la matrícula del año anterior por turno y la matrícula total correspondiente a los tres últimos años.

### **Déficit actual**

De la comparación de antecedentes y cifras proporcionadas en los dos puntos anteriores, es posible obtener una estimación del déficit de atención actual. El déficit puede presentar dos componentes simultáneos o sólo uno de ellos: déficit de cobertura, que se manifiesta en la ausencia de establecimientos educacionales que constituyan alternativas viables a las cuales el alumno puede acceder, y déficit por mala atención en que, aun cuando existan los establecimientos, sus

características y estado de construcción deficiente o la atención de alumnos hacinados impide proporcionar un servicio educacional adecuado.

Las cifras de déficit actual y su proyección para el horizonte de evaluación del proyecto, resultan claves para el análisis y determinación del tamaño-dimensionamiento del proyecto, por lo cual debe explicitarse claramente la fuente de información consultada y la fecha a la cual corresponda dichos antecedentes.

### **Optimización situación actual**

Abordar este punto resulta fundamental para la definición posterior de un proyecto específico, puesto que en oportunidades es posible obtener soluciones eficientes al problema detectado mejorando el uso de los recursos disponibles, más que invirtiendo en infraestructura física.

En algunos casos, producto del diagnóstico realizado, resulta recomendable ejecutar acciones que permitan optimizar la situación actual, lo cual implica incurrir en costos de inversión, de operación o de mantención. Siendo conveniente, por ejemplo, realizar reparaciones menores en las cubiertas y pisos del establecimiento educacional objeto del proyecto o en alguna otra escuela localizada en el área de influencia de éste. En los sectores rurales, es posible estudiar la factibilidad de contratar servicios de locomoción para permitir el acceso del alumnado a los establecimientos existentes; de esta forma se proporciona el servicio educacional sin necesidad de construir escuelas rurales aisladas, en las cuales se presentan dificultades para financiar los costos de operación.



## Proyección de la situación actual optimizada o "situación sin proyecto"

Al igual que en la evaluación de cualquier iniciativa de inversión, resulta fundamental proyectar la situación actual optimizada durante el horizonte de evaluación del proyecto.

En general, los antecedentes considerados para la evaluación de un proyecto de Educación contemplan un horizonte de 10 años, período para el cual se estima se dispone de información; mientras que la vida útil estimada para un establecimiento educacional construido en albañilería, se estima en 30 años y más.

Para el horizonte de evaluación -10 años- deben estimarse y proyectarse el comportamiento de las variables de demanda, oferta y déficit de cobertura y por mala atención.

En la estimación de la demanda, deberá señalarse antecedentes estadísticos respecto a la evolución del número de alumnos en edad escolar, a la estimación de la población escolar no atendida y a la proyección de crecimiento de la población del área de influencia del proyecto, considerando variables como la factibilidad de emplazar nuevos conjuntos de viviendas básicas en dicha área. Se recomienda utilizar como fuente de información las estadísticas oficiales publicadas por el MINEDUC, el Instituto Nacional de Estadísticas, INE y las Municipalidades pertinentes.

Para la estimación del déficit de cobertura y del déficit por mala atención, es conveniente disponer de información estadística actualizada respecto a la capacidad de atención y al estado de la infraestructura de los establecimientos educacionales existentes en el área de influencia del proyecto<sup>2</sup>.

La información respecto a la capacidad de atención de los establecimientos está disponible en el MINEDUC o en la Secretaría

Ministerial de Educación respectiva y para los antecedentes referidos al estado de la infraestructura es recomendable disponer de un informe técnico, avalado por una autoridad competente, como la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, el Servicio de Vivienda de Obras Municipales.

En la determinación de la situación actual optimizada, deberá incluirse todas aquellas acciones que se estima se realizarían en el área de influencia del proyecto, independiente de la ejecución de éste; por ejemplo, otras iniciativas de inversión en Educación que se propone realizar (ampliaciones, construcción de algún nuevo establecimiento, etc.), además de la inversión en reposición y mantención que rutinariamente debe realizarse, a fin de mantener operativa y funcional la red educacional existente.

## Análisis de tamaño y localización del proyecto

Después de optimizar la situación actual, es posible disponer de los antecedentes de la demanda educacional insatisfecha o del déficit de cobertura y/o por mala atención. Con tales antecedentes debe procederse a determinar el tamaño y la localización óptima del proyecto que atendería la demanda insatisfecha.

Para la determinación del tamaño del establecimiento, **pueden utilizarse a modo de referencia**, los Programas Arquitectónicos - Pedagógicos que ha definido el MINEDUC; como normas de planta física. Los antecedentes que contiene este documento deben ser utilizados como antecedentes técnicos de referencia, puesto que el tamaño y los materiales empleados en un proyecto específico deben ser acordes a las condiciones particulares del sector que atendería el proyecto. Por ejemplo, en los sectores rurales alejados y

2. En el análisis se debe considerar a todos los establecimientos de administración municipal, particulares subvencionados, particulares pagados y de corporaciones.

con bajo número de alumnos, será prioritario disponer de los recintos docentes (de acuerdo al número de alumnos y turnos de funcionamiento) y de la vivienda para el profesor, siendo secundaria la construcción de dependencias administrativas del establecimiento.

Entre las variables que conviene considerar al estudiar la localización definitiva del proyecto, resultan fundamentales los sectores desde los cuales procede la población escolar beneficiaria del proyecto, las condiciones de accesibilidad, disponibilidad y frecuencia de los medios de locomoción, disponibilidad de terrenos para equipamiento con situación legal saneada y disponibilidad y dotación de servicios básicos en el terreno propuesto. Esto último debe tenerse en cuenta ya que la ausencia de servicios básicos como agua potable, alcantarillado y/o luz eléctrica, aumentará los costos de inversión del proyecto, por cuanto dotar de estos servicios al terreno es un costo adicional atribuible a la realización del proyecto.

### **Alternativas y preselección del proyecto**

Para dar solución al problema detectado, inicialmente se presenta un conjunto de alternativas de solución, cada una de las cuales presenta costos y beneficios que deberán ser considerados al optar por una alternativa específica. Es importante no asignar beneficios que se habrían obtenido de igual modo, aún sin ejecutar el proyecto, por cuanto con ello se favorece "sobremanera" la realización de un proyecto específico. Igual cuidado debe prestarse al determinar y estimar los costos de cada una de las alternativas de proyecto.

Suponiendo beneficios similares para las alternativas de proyecto, se escoge la de mínimo costo, con lo cual se aplica el criterio de costo-eficiencia para decidir el curso de acción a seguir respecto al problema detectado inicialmente.

### **Beneficios y costos de los proyectos de educación**

Aun cuando la difícil cuantificación de los beneficios que produce la ejecución de un proyecto de inversión en educación hacen aconsejable no utilizar el análisis de costo-beneficio para la toma de decisiones en materia de inversión en infraestructura educacional, se describe a continuación un resumen de los principales beneficios que su ejecución contempla.

Adicionalmente, se señala en detalle los principales ítemes de costos a considerar en el análisis de inversiones en educación, a través del criterio de costo-eficiencia.

La educación incorpora conocimientos, habilidades y destrezas a las personas, lo cual las hace más productivas. En el mercado laboral se remunera a las personas de acuerdo a su productividad, siendo posible encontrar una estrecha relación entre mayor educación y mayores salarios. El diferencial de ingresos asociado a los diferentes niveles de escolaridad corresponde a los beneficios monetarios que produce el mayor nivel educacional.

Dado que la educación constituye inversión en capital humano es posible calcular su tasa interna de retorno, permitiendo su comparación con la tasa interna de retorno de proyectos de inversión alternativos (en capital físico).

Por las características del servicio educacional, en el cálculo de su rentabilidad es difícil cuantificar con precisión sus beneficios monetarios y el costo de oportunidad de educarse, que corresponde a los ingresos que se deja de percibir mientras se estudia.

A través del tiempo, diversos estudios en el área de la economía de la educación han demostrado que la productividad de un individuo depende de su nivel de escolaridad, de su experiencia en el trabajo y de su habilidad, entre otras variables.

En una economía de mercado, el salario o ingreso proveniente del trabajo que percibe el individuo de una determinada categoría

ría ocupacional, corresponde al valor de su productividad.

En diversos estudios empíricos sobre el tema, se han utilizado diversas relaciones en forma de ecuaciones para la estimación de los parámetros. La ecuación que ha dado mejores resultados es la función exponencial específica<sup>3</sup> tal que:

- un individuo sin escolaridad, de todos modos percibe algún ingreso.
- a medida que aumenta el nivel de escolaridad aumenta el nivel de ingresos provenientes del trabajo.
- el nivel de ingresos aumenta con la edad, aunque a partir de cierta edad puede decrecer.

Para obtener los beneficios netos de un proyecto de educación y calcular su rentabilidad social, debe incluirse los efectos de la repitencia y de la deserción, correspondientes a cada nivel y período. Mientras mayores sean dichas tasas, mayor será el costo por alumno efectivamente retenido en el sistema educativo.

Entre los costos de educación se distinguen los directos e indirectos. Los costos directos corresponden el valor de los servicios prestados por los profesores y personal administrativo de cada establecimiento, el valor de los materiales y los elementos necesarios para el estudio. Estos costos pueden ser pagados directamente por la persona y/o por la sociedad.

Los costos indirectos de la mayor educación se producen debido a que el individuo para aumentar su nivel de escolaridad, deja de trabajar y, por lo tanto, deja de obtener ingresos durante ese período; ello representa el costo alternativo de permanecer en el sistema educacional.

Conviene señalar además, que los costos privados debidos a la deserción pueden diferir de su valoración social, ya que la educación es una necesidad básica, estando la sociedad dispuesta a pagar para que sus miembros la satisfagan.

Los proyectos de educación generan externalidades positivas. Por ello, los individuos objeto del proyecto no captan privadamente todos los beneficios que capta la sociedad<sup>4</sup>.

### Costos de inversión:

Considerando las dificultades de cuantificación de los beneficios sociales y por ende la dificultad de evaluar "tradicionalmente" un proyecto de educación en términos de los indicadores VAN y TIR, todos los costos - inversión, operación y mantención - se valoran a precios privados sin efectuar ajustes.

Los ítemes de costos de inversión más frecuentes de un proyecto de educación corresponden a los costos de terreno, construcción, habilitación y equipamiento.

- Terreno:** Corresponde a los costos de adquisición del espacio físico requerido para las obras. Aun cuando el terreno sea propiedad de la institución, haya sido una donación o esté cedido en comodato, en la inversión debe asignársele un valor, el cual corresponderá al costo alternativo de dicho terreno.
- Construcciones:** Corresponde al valor de las edificaciones y obras físicas requeridas para el proyecto. Para su determinación se recomienda utilizar como valores de referencia, el costo por m<sup>2</sup> de construcción de las últimas construcciones escolares realizadas en la región.

3. En general, la ecuación es de la forma:

$$\ln \text{ingreso}_i = a_0 + a_1 \text{Educación} + a_2 \text{Experiencia}_1 + a_3 \text{Experiencia}_2 + u_i$$

"Diferencias sectoriales de ingreso y retornos privado y social de la Educación". Luis Riveros. Documento de Investigación N°58, Departamento de Economía, Universidad de Chile, 1983.

4. Una persona con mayor educación, puede influir en la educación de quienes le rodean (familia, vecinos, etc.). Si el nivel de educación de la sociedad aumenta, es esperable una disminución en los problemas de irregularidad social (delincuencia, vagancia).

- **Equipamiento y habilitación:** Corresponde al valor de los elementos necesarios para dejar el proyecto funcionando; por ejemplo, sillas y pupitres escolares, pizarra, estantes. En general, a este ítem se le asigna un valor que varía entre el 3 y 5% del total del costo de construcción solicitado para ejecutar el proyecto, dependiendo si el proyecto es una reposición parcial o una construcción completa.

### Costos de operación:

Entre los costos de operación destacan las remuneraciones, consumos básicos y materiales. Conviene señalar que en los proyectos de ampliación sólo son relevantes los costos de operación adicionales y no aquellos que se desembolsarían en las situaciones "con" y "sin" proyecto.

Para estimar el costo atribuible a remuneraciones, debe considerarse el número de empleos directos a que da origen el proyecto; por ejemplo, director, profesores, auxiliares. Los costos de materiales corresponden al material didáctico, de aseo y artículos de oficina. Por su parte, los consumos básicos corresponden al pago de luz eléctrica, agua potable, calefacción, alcantarillado y teléfono, según corresponda. Las cifras deben expresarse en términos anuales, en moneda homogénea, que debe señalarse expresamente.

Para los proyectos de Educación resulta fundamental asegurar el funcionamiento de éstos durante toda la vida útil estimada. Por ello, en todos aquellos proyectos que implican aumentos de cobertura en la atención y que generan costos de operación adicionales, es necesario **anexar una carta compromiso de la institución responsable del financiamiento de la operación del proyecto**, por ejemplo, la Municipalidad en el caso de establecimientos de administración municipal.

### Evaluación del proyecto

La selección y evaluación del proyecto definitivo se realiza utilizando el **criterio de costo-eficiencia** mediante el cual se selecciona aquel proyecto que entrega una **solución de mínimo costo al problema detectado**, costo que incluye en la actualización pertinente, los correspondientes costos de inversión y operación asignables al proyecto, suponiendo que los beneficios de las alternativas de proyecto estudiadas y propuestas en definitiva son similares.

### Presentación del documento

La presentación del proyecto o estudio resultante debe incluir al menos todos los puntos señalados en la sección **preparación de proyectos** de esta pauta, agregando un primer capítulo llamado "Resumen y Conclusiones" donde se presente una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de modo que sea autosuficiente para entender todo el proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

Con respecto a la forma de presentación del documento que contiene el detalle del estudio de preinversión, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.
- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.
- Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con un número que se explicará a pie de página.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**FUENTE: MIDEPLAN, INVERSION PUBLICA.**

**EFICIENCIA Y EQUIDAD (SANTIAGO DE CHILE, 1992)**

**METODOLOGIAS ESPECIALES**

**RIEGO**

**PALACIO DE MINERIA  
1995**

ja la vida útil económica del equipo y también el momento óptimo de reemplazarlo.

### Costo marginal de operación

Como se mencionó anteriormente, consiste en aquel costo relevante para continuar operando un equipo durante un período adicional de tiempo. Esto es posible expresar de la siguiente manera:

$$C.M. = \frac{C_1}{(1+i)} + VR_0 - \frac{VR_1}{(1+i)^n} \quad (1)$$

donde:

- C.M. : Costo marginal de operación.
- C<sub>1</sub> : Costo directo e indirecto asociado a la operación del equipo durante un periodo adicional.
- VR<sub>0</sub> : Valor residual del equipo en el momento cero. Representa un costo marginal no percibido en caso de continuar operando el equipo.
- VR<sub>1</sub> : Valor residual del equipo al final del periodo adicional
- i : Tasa de descuento relevante para la Empresa o Servicio

Los valores residuales (VR) mencionados anteriormente, corresponden a aquellos valores en que es posible liquidar en el mercado, tanto hoy como en un período de tiempo adicional, el equipo que se pretende reemplazar. Al respecto es importante destacar que, normalmente, producto del uso del equipo viejo por otro período, éste presentará un deterioro adicional al actual, el que se verá reflejado en una disminución del precio en el mercado en términos reales.

Sucede también que, producto del grado de deterioro o antigüedad de un equipo, a veces su precio real no varía de período en período, e incluso en ocasiones éste es nulo o asimilable al de la chatarra. Por otro lado, los costos (C<sub>1</sub>) relevantes a considerar son aquellos que, producto de la experiencia o estimaciones de posibles mantenciones y otros, es esperable incurrir para mantener en servicio el equipo por un periodo más.

Si bien es cierto que los costos pertinentes deben ser determinados en cada caso en

particular, cabe señalar que además de los costos tradicionalmente conocidos, como mano de obra, combustibles, energía eléctrica, mantención, reparación, supervisión y otros, deben considerarse los seguros, patentes municipales, permisos de circulación, y las mantenciones mayores que conduzcan a mantener un nivel de servicio similar al del equipo nuevo.

### Costo anual equivalente (C.A.E.)

La expresión matemática que permite anualizar los costos totales de tener y mantener un equipo está dada por :

$$CAE = \left[ I_0 - \frac{VR_n}{(1+i)^n} + \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+i)^j} \right] \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

donde:

- CAE : Costo Anual Equivalente
- i : Tasa de descuento pertinente para la Empresa o Servicio
- n : Número de períodos considerados
- C<sub>j</sub> : Costo directo e indirecto asociado a la operación del equipo en el año j
- VR<sub>n</sub> : Valor residual del equipo en el año n
- I<sub>0</sub> : Valor de la inversión del equipo en el año 0.

Esta expresión que conduce a idénticos resultados que el criterio VAN, tiene por objeto anualizar dos términos de comportamiento antagónico: por un lado, los costos totales de operación, que crecen a medida que transcurre el tiempo; y por otro, la inversión neta del equipo, que tiende a disminuir al considerar más años en su anualización. Ello ocurre suponiendo un sistema de depreciación lineal para los equipos.

Así, al conjugar ambos términos se suele encontrar un punto en que el costo anual equivalente tiene un mínimo.

El número de años para el cual el costo anual equivalente es mínimo representa la vida económica del equipo que se está analizando.

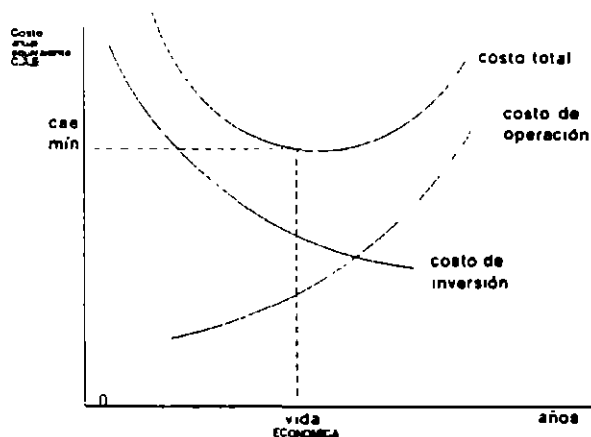
Como ya se mencionó al destacar el criterio de decisión de reemplazo de equipos, lo relevante para el análisis es el cálculo del

Costo Anual Equivalente Mínimo del equipo o los equipos nuevos que están compitiendo entre sí para reemplazar a uno viejo.

Así las cosas, se tendrá que aquel equipo nuevo que posea un CAE mínimo, comparado con el del resto de los equipos nuevos que están compitiendo, podrá ser comparado con la continuación de las operaciones del equipo viejo (costo marginal del equipo viejo).

Esto se advierte con mayor facilidad en el gráfico que se muestra a continuación.

Gráfico N° 1  
COSTOS DE REEMPLAZAR EQUIPOS



### Análisis después de impuestos

El hecho que la entidad que pretende efectuar el reemplazo de un equipo esté afecta a alguna tasa de impuesto que grave las utilidades que ella genera (Empresas), introduce una distorsión en la toma de decisiones con respecto al momento óptimo para reemplazar un equipo. Esto se debe a que los costos marginales de cualquier empresa que genera utilidades son absorbidos en parte por ella y en parte por quien recibe los impuestos.

Al existir los impuestos mencionados las expresiones de Costo Marginal de Operación y Costo Anual Equivalente, se modifican según se indica a continuación:

$$C.M. = \frac{C_1(1-t)-D_1t}{(1+i)} + VR_0-t(VR-VL_0) - \frac{VR_1-t(VR_1-VL_1)}{(1+i)^n} \quad (3)$$

donde:

- $D_1$  : Depreciación del equipo asociada al año 1
- $VL_0$  : Valor libro del equipo en el año 0
- $VL_1$  : Valor libro del equipo en el año 1
- $t$  : Tasa de impuesto.

$$CAE = \left[ I_0 - \frac{VR_n-t(VR_n-VL_n)}{(1+i)^n} + \sum_{j=1}^n \frac{C_j(1-t)-D_jt}{(1+i)^j} \right] \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

donde:

- $D_j$  : Depreciación del equipo asociada al año  $j$ .
- $VL_n$  : Valor libro del equipo en el año  $n$
- $t$  : Tasa de impuesto.

Con respecto a la expresión de Costo Marginal de Operación, es importante destacar que la depreciación ( $D_1$ ) corresponde a aquella que la empresa imputará para el cálculo de impuestos en el período. Por lo tanto, si el equipo ya se encuentra totalmente depreciado, este valor será nulo y por consiguiente su valor libro también lo será, ya que este último corresponderá a la inversión inicial realizada para adquirir el equipo menos la depreciación acumulada del mismo.

En la expresión de Costo Anual Equivalente, fuera de ser válidas las observaciones hechas anteriormente, hay que tener presente que las depreciaciones del equipo nuevo ( $D_j$ ) corresponden a las realmente imputables, o sea que, independientemente de la vida económica de dicho equipo, las depreciaciones anuales serán siempre las mismas y por un período fijo.

### Cálculo de VAN y TIR

Una vez demostrado que el momento óptimo de reemplazar un equipo es hoy y no mañana, a través del método sugerido, es importante calcular los indicadores de VAN y TIR con el fin de hacer comparables este tipo de proyectos con otros de similares características.

## Preparación de proyectos

### Análisis de antecedentes

Se presentarán datos referentes a la institución que presenta el proyecto y al equipo en cuestión.

De la institución debe proporcionarse antecedentes generales respecto de su actividad, servicio que presta, tamaño, ubicación geográfica y disponibilidad de recintos adecuados para el equipo.

En relación al equipo, objeto del proyecto, debe indicarse:

- Tipo de equipo y producto que proporciona.
- Descripción del equipo existente, marca y año de adquisición, y calidad de producción del bien o servicio.
- Descripción del equipo que se pretende adquirir y calidad de su producción.
- Indicar los niveles de producción o prestación de servicios de los últimos años.
- Indicar los niveles de producción o prestación de servicios solicitados a terceros.

### Diagnóstico situación actual

En el planteamiento y análisis del problema, corresponde definir la necesidad que se pretende satisfacer o se trata de resolver, establecer su magnitud y señalar las deficiencias detectadas. Es necesario indicar los criterios que han permitido detectar la existencia del problema, verificando la confiabilidad y pertinencia de la información utilizada.

Si el problema está relacionado con el funcionamiento actual de un equipo, la presentación del proyecto deberá respaldarse con informes técnicos referidos a las causas del funcionamiento deficiente.

## Optimización de la situación actual

La determinación de la situación actual optimizada es clave para determinar los beneficios pertinentes al reemplazo de un equipo específico. Ello con el objeto de no atribuir al proyecto beneficios que se podrían obtener incurriendo en menores costos.

Es posible que con medidas administrativas o de racionalización del servicio, se logre una situación mejor que la actual. En el caso de proyectos de reemplazo, puede mejorar el rendimiento del equipo existente perfeccionando al personal a cargo de su operación.

### Alternativas de solución

Para el caso de proyectos de reemplazo, las alternativas de solución son:

- Mantención del equipo existente.
- Reemplazo del equipo por uno nuevo.
- También, puede considerarse como alternativa adicional la contratación de servicios a terceros.

## Evaluación del proyecto

Corresponde en esta etapa definir todos los beneficios y costos atribuibles al proyecto. Estos pueden ser directos o indirectos. La evaluación privada sólo considera los beneficios y costos que afectan directamente a los "dueños" del proyecto, en tanto la evaluación social introduce correcciones a dichos valores privados y agrega los costos y beneficios que genera el proyecto y que afectan los mercados de bienes o servicios no considerados en la determinación de los valores privados.

Además, los proyectos pueden generar beneficios y costos difíciles de medir, e in-



cluso difíciles de identificar tales como contaminación, calidad de trabajo, etc.

En todo caso, los beneficios y costos por considerar en el análisis son incrementales, en otras palabras, sólo importa identificar los costos y beneficios adicionales que proporciona el proyecto en relación a la situación sin proyecto.

En ese sentido, la evaluación del reemplazo de equipos que mantienen un determinado nivel de servicio o producción no requiere determinar los beneficios de la situación con y sin proyecto ya que en la comparación se anularían.

En ese caso, los beneficios están dados exclusivamente por las diferencias de costos de operación y mantención de ambas situaciones.

Previo a determinar si se reemplaza un equipo, se debe determinar la alternativa de mínimo CAE. Seleccionada la alternativa más conveniente, se compara el CAE con los costos marginales de seguir operando el equipo antiguo; si el CAE es menor se reemplaza, de lo contrario conviene postergar.

Si la decisión es reemplazar se debe calcular el VAN del proyecto.

## Estimación de beneficios

Los beneficios deben estimarse para la alternativa de mínimo costo anual equivalente y compararlos con los beneficios de la situación base optimizada.

Los principales beneficios asociados a estos proyectos corresponden a ahorros de costos de operación y mantención; sin embargo, por constituir un costo, su análisis se realiza en la estimación de costos.

Los beneficios atribuibles a la producción de bienes o servicios pueden determinarse en base al valor asignado a cada unidad multiplicados por la cantidad de unidades entregadas o producidas. Si se diera el caso, que la alternativa elegida presentara realmente beneficios adicionales a los consi-

derados relevantes para tomar la decisión de reemplazar o no, como por ejemplo, mejorar la calidad del producto o del servicio entregado, disminución de la contaminación, aumento en la seguridad de trabajo, etc., en el cálculo del VAN deben considerarse.

Por otra parte, al final de la vida del proyecto debe considerarse el valor residual del equipo (que dependerá de los años de funcionamiento que aún le quedan al equipo); se puede tomar como valor residual el probable valor de venta que tendría el equipo a esa fecha, o el valor de sus elementos que pueden usarse como repuestos al integrar otros procesos.

En la evaluación privada los valores antes indicados no deben incluir el impuesto IVA. Para la evaluación social los valores privados deben corregirse por los factores de ajuste de la divisa y mano de obra, eliminando previamente todo impuesto o subsidio.

## Estimaciones de costos

### Costos privados

Los costos que deben considerarse corresponden a los desembolsos que requeriría la alternativa seleccionada en relación a la situación base optimizada y que presenten variaciones en el tiempo.

Los costos pueden ser ocasionados por la adquisición de bienes y servicios, por la utilización de mano de obra y por el pago de impuestos a las utilidades. En el caso de bienes y servicios, su valor debe excluir el impuesto al valor agregado (IVA), e incluir los aranceles de importación, además de todas las erogaciones necesarias para tenerlos disponibles en la institución o Empresa.

En el caso de personal, el costo se mide por las remuneraciones que deben pagarse. Ellas deben incluir todos los conceptos que signifiquen una erogación para la institución

(lo que se le paga al empleado, los aportes patronales, etc.).

### *Costos de inversión*

En la situación sin proyecto se incluye el costo que requiere la mantención del equipo existente para seguir operando. La base para la estimación de la inversión serán las cotizaciones obtenidas de una o más empresas. Este desembolso se efectúa en el momento inicial del proyecto (llamado momento cero), aunque puede suceder que no sea necesaria una mantención mayor.

Es importante conocer la vida útil de la mantención mayor, es decir, dentro de cuántos años, a partir del año cero, habría que hacer otra mantención importante. Si es necesario dentro del horizonte considerado como vida del proyecto, en el año que corresponda, habrá que prever la inversión correspondiente a la nueva mantención mayor.

En la situación con proyecto, se incluye la inversión total de compra del equipo nuevo hasta su puesta en funcionamiento, incluyendo también las modificaciones y/o adaptaciones en el edificio.

También corresponde asignar ese gasto al momento cero, si la inversión durara más de un año se asignará a cada año la erogación que le corresponda.

La duración del proyecto a partir del inicio de la operación coincidirá con los años de vida normal del equipo nuevo.

### *Costos de operación*

Se estimarán los costos de operación en que incurrirá la institución debido a la producción de bienes o prestación de servicios, para la situación base optimizada y para la alternativa seleccionada.

El costo total de operación será igual a los costos fijos, que no dependen de los niveles de producción, más el costo unitario

variable multiplicado por el nivel de producción o prestación de servicios.

Para obtener el costo unitario variable, por producto o prestación de servicio, se deben determinar los costos totales variables incurridos en un determinado período, en el tipo de producto o servicio que se está estudiando y se dividirá luego por el nivel de producto o servicio de ese mismo período.

El costo fijo se estimará como un promedio de esos gastos en una época de funcionamiento normal del equipo.

Para el equipo nuevo se puede obtener el costo promedio de un equipo similar (en tamaño y características) al que se pretende adquirir.

Deben incluirse en este análisis los costos correspondientes a la adquisición de:

- Insumos, materiales necesarios para la producción o prestación del servicio.
- Remuneración del personal (puede incluir a profesionales, ayudantes, secretarías, etc.).
- Gastos generales, fijos y variables.
- Útiles, etc.

### *Costos de mantención*

Para la situación base optimizada y la alternativa seleccionada deberá estimarse los costos de mantención.

Es una información que suelen proporcionar las empresas que reparan o venden los equipos. Puede aparecer como un porcentaje del valor inicial del equipo y generalmente los gastos de mantención crecen a medida que el equipo se hace más antiguo.

### **Costos sociales**

A partir de los datos de costos privados se estiman los costos sociales, correspondientes a las alternativas de solución y la situación considerada como base. Para ello, se deben realizar correcciones a los costos de

acuerdo con las instrucciones sobre precios sociales dadas por MIDEPLAN cada año.

*Bienes materiales y servicios:* (reparación, equipos nuevos, insumos materiales para operación, combustibles, etc.) se dividirán en bienes que son transables internacionalmente y los que no lo son.

*Bienes transables:* en primer lugar, se debe descontar el IVA y el arancel de importación. Así, si el IVA es 18%, y el arancel 15%, el valor del bien se debe dividir por  $(1,18 \times 1,15)$  para llegar al valor sin IVA y sin arancel. Luego, el valor así obtenido debe multiplicarse por el factor de corrección dado por MIDEPLAN para el valor social de la divisa. De esta forma se obtiene el valor social del bien transable.

*Bienes no transables:* se debe descontar solamente el IVA y otros impuestos específicos aplicables a ese bien. Si el impuesto es del 20%, se divide por 1,20.

*Remuneraciones:* se deberá distinguir entre tres categorías de recursos humanos:

- Mano de obra calificada
- Mano de obra semicalificada
- Mano de obra no calificada

Los valores privados correspondientes a cada tipo de mano de obra deberán ser multiplicados por los factores de corrección difundidos por MIDEPLAN<sup>2</sup> para obtener el costo social de la mano de obra.

Estos cálculos referentes a bienes materiales y a remuneraciones se harán para cada uno de los rubros de costos indicados anteriormente.

## Cálculo de indicadores

### Valor actual neto

Para llegar a la obtención de indicadores de rentabilidad social es necesario en primer

lugar, formar el flujo de costos y beneficios que se espera ocurrirán como consecuencia del proyecto, para la situación base optimizada y la alternativa de solución.

Por ejemplo, si la inversión de un proyecto demora dos años se tendrán valores de inversión en el momento cero y en el momento uno del proyecto. Los beneficios y costos de operación asociados a un intervalo de tiempo "i" se asignarán al término de este período, denominado momento "i". Al final de la vida útil del proyecto debe incorporarse el valor residual como un beneficio asociado al último momento.

A partir de estos elementos puede formarse perfiles de costos y beneficios para la situación base optimizada y para la alternativa de mínimo CAE como se indica en el siguiente cuadro (Nº1).

Cuadro Nº 1

Momento Concepto	0	1	.....	n
Inversión	-I			
Beneficios		B <sub>1</sub>	.....	B <sub>n</sub>
Valor Residual		-		VR
Costos Operación		(CO <sub>1</sub> )	.....	(CO <sub>n</sub> )
Costos Mantenición		(CM <sub>1</sub> )	.....	(CM <sub>n</sub> )
Beneficio Neto	-I +	B <sub>1</sub> -CO <sub>1</sub> -CM <sub>1</sub> ..	B <sub>n</sub> +	VR-CO <sub>n</sub> -CM <sub>n</sub>

La comparación entre beneficios y costos de la situación sin proyecto y con proyecto permite calcular los beneficios netos atribuibles a la alternativa de proyecto.

Si se considera que los beneficios netos se obtienen a partir de la diferencia entre beneficios brutos (B<sub>i</sub>) y costos brutos (C<sub>i</sub>) esta relación se transforma en:

$$BN_i = (B_{iC/P} - C_{iC/P}) - (B_{iS/P} - C_{iS/P})$$

Para el caso particular de aquellos proyectos que proporcionarán igual nivel de producción o servicio que su situación base, el beneficio neto puede escribirse como:

$$BN_i = C_{iS/P} - C_{iC/P}$$

2. MIDEPLAN. Departamento de Inversiones "Procedimientos y Formularios para el Sistema de Estadísticas Básicas de Inversión".

En otros términos, los beneficios atribuibles al proyecto se pueden estimar a partir de los ahorros de costo (mantención y operación) de las situaciones planteadas. Los beneficios brutos se anulan en la comparación de ambas situaciones.

Para el cálculo del valor actual neto, será necesario actualizar cada flujo por la tasa de descuento pertinente para la institución o empresa según lo indica la siguiente relación:

$$VAN = BN_0 + \frac{BN_1}{(1+r)} + \dots + \frac{BN_n}{(1+r)^n}$$

## Beneficios y costos no medidos

Es importante tener en cuenta que los indicadores de rentabilidad se obtienen considerando los beneficios y costos que pudieron cuantificarse. Es decir, si hay alternativas en que no es posible calcular algunos beneficios y muestran indicadores de rentabilidad bajos, no significa que deban descartarse del análisis.

Por otra parte, puede suceder que los beneficios no medidos no sean iguales en todas las alternativas de solución consideradas. En ese caso, hay que tomarlos en cuenta para la decisión final de la elección de alternativas y de la ejecución del proyecto.

## Conclusiones y recomendaciones

En esta sección debe incluirse las principales conclusiones del estudio y en forma específica las recomendaciones surgidas del estudio.

## Elementos condicionantes del proyecto

Deberán indicarse todos aquellos factores externos al proyecto que condicionan los resultados obtenidos (procesos productivos y tecnología asociada, tecnología y tamaño óptimo, tamaño y mercado del producto e

insumos, estacionalidad de los insumos, razones institucionales, de geografía física, economías o deseconomías externas, etc.). Deberá incluirse en este punto aquellas variables que presentan más problemas en su estimación, como también los problemas más comunes que presentan los proyectos en análisis.

## Financiamiento

Si corresponde, se deberá indicar los criterios utilizados para el financiamiento del proyecto y las instituciones que en él participan. Al mismo tiempo deberá indicarse los requisitos que se exigirán a las instituciones que participan en el financiamiento (carta compromiso del Gerente, del Alcalde, etc.).

## Presentación del documento

La presentación del proyecto o estudio resultante debe incluir al menos todos los puntos señalados en la sección **preparación de proyectos** de esta pauta, agregando un primer capítulo llamado "Resumen y Conclusiones" donde se presente una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de modo que sea autosuficiente para entender todo el proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

Con respecto a la forma de presentación del documento que contiene el detalle del estudio de preinversión, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.

- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.
- Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con

un número que se explicará a pie de página.

# Metodología para la preparación y evaluación de proyectos de riego<sup>1</sup>

## Introducción

El objetivo de esta metodología es dar una pauta para evaluar económicamente la ejecución de proyectos de riego, con el fin de tener una herramienta común de comparación y priorización para la mejor asignación de los recursos del sector.

Los proyectos de riego tienen como objetivo reducir la brecha que existe entre la oferta y la demanda de agua para la producción agrícola, debido a que las épocas de lluvias, concentradas en los meses de invierno, no coinciden con las épocas de mayor requerimiento hídrico de los cultivos, comúnmente los meses de verano.

Dentro de las tipologías de proyectos de riego se pueden mencionar las ampliaciones y mejoramientos de la infraestructura existente, la construcción de nuevas obras, el saneamiento de terrenos potencialmente agrícolas, la transferencia tecnológica destinada a mejorar los sistemas de aplicación del agua y los cambios de patrones de cultivo de manera de optimizar el recurso hídrico disponible, entre otros.

La infraestructura o sistema de riego comprende básicamente un conjunto de obras destinadas a la captación, derivación, conducción y regulación de aguas.

Las obras de captación corresponden principalmente a los pozos que captan aguas subterráneas.

Las obras de derivación están constituidas por las bocatomas de carácter permanente, las cuales llevan a canales las aguas de ríos, esteros o vertientes.

Las obras de conducción llevan las aguas desde la captación o derivación, hasta las

obras de regulación o de distribución ubicadas en los predios.

Las obras de distribución consisten en redes de canales secundarios y terciarios, que llevan el agua desde un canal matriz hasta los predios; dentro de éstas se incluyen los marcos partidores, compuertas, cámaras y estructuras de medición del flujo de agua, además de los canales propiamente tales.

Las obras de regulación sirven para el aprovechamiento de las aguas, que escurren durante los periodos en que no son utilizadas, almacenándolas para usarlas cuando se origine un déficit, o para aumentar la superficie bajo riego. Dentro de esta categoría se incluyen los embalses y los tranques de regulación nocturna o de temporada.

## Teoría sobre la cual se basa la metodología

### Definición de costos y beneficios

Para la evaluación del proyecto de riego se distinguen dos situaciones, una situación base optimizada, una "sin proyecto" y otra "con proyecto", cada una con sus respectivos costos y beneficios.

La diferencia de costos y beneficios entre estas dos situaciones, permitirá obtener los beneficios netos atribuibles al proyecto. La conveniencia de su materialización dependerá de si los beneficios asociados a él son mayores que sus costos; o en caso contrario, si no es rentable no deberá llevarse a cabo.

Los costos asociados a los proyectos corresponden a los costos de inversión, y a la mayor utilización de recursos debido al proyecto. También forman parte de los costos, todos aquellos beneficios que se obtienen antes del proyecto y que, posteriormente, con su materialización se dejarán de percibir.

1. Versión preliminar.

Los beneficios de los proyectos de regadío están relacionados con la mayor disponibilidad de agua, el ahorro o la liberación del recurso hídrico, producto ya sea de una nueva captación, aumento en las eficiencias de riego o una mejor regulación.

Dado que no existe un mercado formal, con una demanda y oferta de unidades de agua, se ha buscado una forma alternativa de cuantificar los beneficios a través de otro mercado, que es el de los productos agrícola-ganaderos, en cuya producción el agua interviene como un insumo. Los beneficios asociados al proyecto corresponden por lo tanto, al aumento en la producción agrícola-ganadera, debido a la realización del mismo.

## Identificación de beneficios

Una de las principales dificultades que se presenta al evaluar proyectos de riego es identificar y cuantificar los beneficios del proyecto.

La producción agrícola, que refleja los beneficios del proyecto, depende de las cosechas de los cultivos. Estos se pueden separar en dos tipos:

**Cultivos anuales:** Son aquellos que duran una sola temporada, es decir, se siembran y cosechan en el mismo período. Ejemplo: trigo, hortalizas.

**Cultivos permanentes:** Son aquellos que tienen una duración de más de una temporada, es decir, se siembran o plantan una vez, y se pueden cosechar durante varias temporadas. Por ejemplo, frutales. Estos cultivos, en general, requieren de una inversión mayor que en el caso de los cultivos anuales, y consecuentemente su rentabilidad es también mayor.

A su vez, la cosecha de los cultivos depende entre otros factores, de la satisfacción de sus demandas de riego dentro de la temporada. Es así como al productor agrícola le interesa, tanto la disponibilidad del recurso hídrico como su distribución dentro del período de riego. Además, para el caso de los

cultivos permanentes, le interesará el abastecimiento del recurso en los períodos siguientes.

La disponibilidad del recurso hídrico es una variable aleatoria, que está asociada, por lo tanto, a una distribución de probabilidades. De esta manera se hace necesario definir el concepto de seguridad de riego, que indica la probabilidad de contar con los recursos hídricos necesarios, durante varias temporadas (o años), dicho de otra manera, es una forma de medir el riesgo asociado al abastecimiento del recurso.

Los productores toman las decisiones de plantar, previo a conocer la disponibilidad de recursos hídricos necesarios, por lo que su decisión se basa en un pronóstico o "esperanza".

Por lo tanto, el productor de un predio que tenga una seguridad de riego baja, optará sólo por plantar cultivos anuales, cuando su pronóstico le indique que tendrá recursos suficientes. Por otro lado, un productor de un predio que tenga una seguridad de riego alta, podrá optar por plantar cultivos permanentes, ya que su riesgo es menor.

Los beneficios del proyecto se generan al aumentar la seguridad de riego para las tierras beneficiadas, permitiendo una mayor producción; ya sea por aumentar la superficie regada en cada año, como por permitir un cambio a cultivos más rentables, al disminuir el riesgo del abastecimiento de agua.

Las tierras de secano, que son aquellas que no se riegan, tienen un beneficio que se puede estimar por el valor comercial de la tierra en esas condiciones.

Este beneficio se debe considerar en los casos en que estas tierras pasen de la situación de secano a tener riego.

## Identificación de costos

A diferencia de las dificultades mencionadas para la identificación de los beneficios, respecto a los costos hay bastante experiencia acumulada, en términos de las va-

riables a las cuales se recurre para el cálculo.

A continuación se indican los ítemes de costos:

### Costos de Inversión

Entre éstos se contempla el pago por concepto de las expropiaciones de terrenos que serán inundados por un embalse, o están ocupados por los canales de riego; las obras civiles y equipos, que pueden variar dependiendo del proyecto, por ejemplo, sistemas de captación, conducción, canales matrices secundarios, regulación nocturna, revestimientos, equipos de bombeo, perforaciones, puesta en riego, etc. Para algunas tipologías de proyectos, entre los costos de inversión se contempla el financiamiento para programas de capacitación, por ejemplo en técnicas agrícolas y técnicas de riego, etc.

### Costos de operación y mantención

Se incluye el financiamiento para la operación de embalses, limpieza de canales, energía, repuestos, limpieza de tranques, etc., que dependerán de cada proyecto en particular.

### Costos de producción

Se refieren a la adquisición de insumos y factores productivos, tales como semillas, mano de obra, fertilizantes, pesticidas, arriendo de máquinas agrícolas, tiempo del empresario.

En los costos se debe incluir además, aquellos bienes durables propios del empresario, que se incorporen en la situación con proyecto, por ejemplo galpones, maquinarias, casas, etc.

## Horizonte de evaluación

El horizonte de evaluación corresponde a los años de vida útil económica del proyecto. En este tipo de obras es común usar un valor igual a 30 años. Todos los beneficios netos adicionales, que podrían obtenerse con posterioridad al término de la vida útil económica del proyecto, deben incorporarse como beneficio en ese momento del tiempo, calculándose como un valor actual neto.

## Indicadores económicos

La conveniencia de ejecutar o no un proyecto puede determinarse comparando los beneficios y costos de cada alternativa de proyecto, con los beneficios y costos de la situación sin proyecto.

Este análisis requiere construir flujos de beneficios netos diferenciales, para cada alternativa en diferentes periodos de tiempo, para calcular el valor actual neto (VAN) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1 + r)^i}$$

Donde:

- $B_i$  : beneficio del período  $i$
- $C_i$  : costo del período  $i$
- $i$  : período
- $n$  : vida útil del proyecto
- $r$  : tasa de descuento

Si el valor actual neto de las alternativas analizadas resulta negativo, la situación base se transforma en alternativa de solución a los problemas detectados, y conviene económicamente su materialización.

Es necesario señalar, que la situación base puede no ser la situación actual. En este sentido, será necesario ejecutar todas las modificaciones que deberán efectuarse a la situación actual para llegar a la situación optimizada, usada en el proceso de comparación de beneficios y costos.

También es importante señalar, que además de las conclusiones que se pueden obte-



ner del indicador VAN, en el momento de tomar la decisión sobre la ejecución del proyecto se debe considerar los beneficios que no fue posible medir.

En general, la alternativa de solución más conveniente es aquella que muestra el mayor VAN. Para cada alternativa de solución debe calcularse el tamaño óptimo requerido.

Además de este indicador, se deben calcular la tasa interna de retorno (TIR) y la rentabilidad social por unidad monetaria invertida (IVAN).

Tanto la TIR como el IVAN, son indicadores útiles para elegir los mejores proyectos dentro del universo de proyectos rentables.

Es importante señalar que un proyecto puede ser rentable, pero eso no asegura la conveniencia de su ejecución inmediata. Aún teniendo VAN positivo, puede ser recomendable su postergación de modo de obtener el máximo VAN posible. De esta manera, se debe determinar el *año óptimo* de inversión, el que debe coincidir con aquel en el cual el proyecto postula su ejecución.

Este análisis se debe realizar en aquellos proyectos que tengan variables que influyen en sus costos o beneficios, y que cambian no sólo con la edad del proyecto, sino además con el tiempo. Ejemplos de estas variables son el crecimiento de la población, una proyección de precios de los productos, etc.

## Preparación de proyectos

### Análisis de antecedentes

El análisis de los antecedentes debe realizarse como una de las primeras actividades antes de formular un proyecto de riego específico. Para ello, es necesario ubicar los antecedentes requeridos en fuentes como los Ministerios de Agricultura, Obras Públicas y Bienes Nacionales, Comisión Nacional de Riego, CIREN, CORFO, a nivel central; y

en los organismos privados pertinentes. A nivel regional, dicha información puede ubicarse en los organismos públicos y privados existentes, en el área o radio de acción del proyecto, por ejemplo: SERPLAC, SEREMI de Agricultura, otras. Además, se recomienda analizar la información relevante de estudios anteriores.

Se debe especificar la localización geográfica, las principales características físicas y ecológicas del área, su población, la infraestructura de servicios y las principales actividades económicas.

Además, se debe incluir un detalle y evaluación de los recursos disponibles en el área, tales como clima, suelo, agua y recursos humanos, caracterizando la situación agropecuaria y de regadío e indicando el problema o necesidad insatisfecha que se desea solucionar.

A continuación, se indican los principales factores a considerar en la evaluación de los recursos.

*Climatología:* El análisis del recurso clima tiene por finalidad definir las zonas agroclimáticas de acuerdo a su potencialidad productiva.

*Recurso suelo:* Su análisis tiene por objeto determinar el potencial productivo de las diferentes zonas del proyecto.

*Hidrología:* Se debe analizar la información disponible, que permita trabajar con un período representativo para la zona del proyecto. Por tratarse de variables aleatorias, es importante que se utilice información confiable desde el punto de vista estadístico.

*Situación agropecuaria:* Su análisis permite establecer niveles de desarrollo agrícola, tecnológico, social e institucional, para elaborar planes de capacitación, asistencia técnica, asistencia crediticia.

*Superficies disponibles:* Productivas, arables, de riego, de secano.

*Estructura de propiedad agrícola:* Según tamaño, tenencia, capacidad empresarial.

*Organización de los beneficiarios:* En asociaciones de canalistas, de regantes, etc.

*Caracterización económica de la producción:* Consiste en determinar la composición de costos y de ingresos por cultivo, en el área del proyecto. La idea es establecer ingresos netos mediante el análisis de precios de insumos, y de productos bruto y neto. Se analiza además la ocupación de mano de obra en sus diferentes tipos y especialidades.

*Marco legal:* Se debe analizar la condición jurídica de los terrenos donde se construirán las obras, la posterior administración, la necesidad de realizar aportes de parte de los beneficiarios, etc.

## Diagnóstico

Para el planteamiento y análisis del problema, corresponde definir claramente la necesidad insatisfecha que se pretende solucionar, o los problemas que se intenta resolver, señalando sus magnitudes.

Esto generalmente se inicia con una descripción general del área que se pretende regar y un comentario sobre las principales características y limitaciones previstas para su desarrollo.

## Oferta

Se debe realizar un análisis de la oferta considerando los siguientes aspectos:

*Infraestructura de riego:* obras de captación, red de canales, tranques de regulación nocturna, drenajes, todo ello con un diagnóstico del estado en que se encuentran.

*Operación y mantenimiento del sistema de riego:* revestimiento de canales, técnicas de riego, determinación de eficiencias, costos de operación y de mantenimiento del sistema.

*Organización:* se identifican las organizaciones de riego existentes y se analiza su funcionamiento.

Finalmente interesa, conocer mes a mes, la oferta de agua disponible, es decir, los

caudales en (l/s), en las bocatomas de las obras de distribución.

## Demanda

Por su parte, la demanda actual se determina en base a los requerimientos para riego y los requerimientos para usos no agrícolas, en caso que estos últimos existan.

La demanda de agua para riego se puede determinar, a nivel de predio (demanda de agua de los cultivos), y a nivel de bocatoma y sistemas de riego.

*Demanda de agua de los cultivos:* Con la estructura de cultivos, incluyendo praderas y plantaciones, y con los sistemas de riego existentes, se determinan las demandas o tasas de riego por cultivo. Para este efecto, se utilizan ecuaciones que señalan los requerimientos de agua para cada tipo de cultivo, en función de la evapotranspiración, las precipitaciones efectivas y las eficiencias de riego, compatibles con el nivel tecnológico existente. La ecuación que relaciona dichas variables para un mes determinado es la siguiente:

$$Tr = \sum_{i=1}^n \frac{(K_i \cdot ETP - Pe) P_i \cdot f}{Nr}$$

donde:

Tr	: tasa de riego en litros/segundos/há
K <sub>i</sub>	: coeficiente de consumo mensual de cultivo i
ETP	: evapotranspiración potencial media mensual en mm
Pe	: precipitación efectiva en mm/mes
P <sub>i</sub>	: ponderación del cultivo i
f	: Factor de conversión de unidades = 1/259.2
Nr	: eficiencia de riego a nivel del área
n	: número de cultivos

La tasa de riego considera la demanda de agua de la estructura de cultivo por sobre sus necesidades netas e incluye, por lo tanto, los excedentes asociados a la ineficiencia propia de las tecnologías de riego a nivel de potrero. Las necesidades netas de los cultivos corresponden a la evapotranspiración real, ajustada por los aportes de las precipi-

taciones que quedan almacenados en el suelo y en la zona radicular de los cultivos (precipitación efectiva).

Con las tasas de riego estimadas, se puede determinar el volumen total de agua requerida por los cultivos en el área, a nivel de predios.

*Demanda de agua en el nivel de bocatomas y sistema de riego:* Para su estimación se analiza el sistema de canales extraprediales y la infraestructura de regulación nocturna, con el propósito de determinar las pérdidas por conducción (infiltración en canales), los recursos y derrames existentes en el sistema, sobre la base de las demandas de los cultivos (a nivel del predio). Después de la aplicación de estos factores de eficiencia, se determinan las demandas totales en el nivel de bocatomas y sistemas de riego.

*Determinación de las necesidades de agua no agrícolas:* Se estudian los usos actuales del agua para fines de consumo, sanitario, industrial, minero, hidro-eléctrico y turístico. Para cada caso se calculan sus demandas, identificando sus usuarios más significativos.

Después de realizar los análisis anteriores, corresponde comparar las disponibilidades con las necesidades de agua (balance hidrológico). Como consecuencia del balance realizado, para varios años de estadísticas, se determina el déficit de agua y las áreas efectivamente regadas, en los diferentes meses considerados.

Corresponde definir además, como año fallado, aquel en que al menos un mes presente un déficit de agua superior al 15% de la demanda, o en que en dos meses consecutivos se presente déficit mayores a un 10% y menores a un 15%. Definida esta situación es posible conocer la pérdida de la producción del área considerada.

Junto a lo anterior se define el concepto de seguridad de riego, que es el cociente entre los años no fallados y el total de años considerados.

Desde el punto de vista agro-hidrológico, un superficie con riego seguro, es aquella que tiene una seguridad de riego mayor o

igual a 85%. Para este nivel es posible suponer que el riesgo para el agricultor es el adecuado para decidir invertir en la plantación.

En resumen, resultado del diagnóstico se debe determinar la seguridad de riego actual del área del proyecto, y la superficie que se puede regar con una seguridad del 85%.

Para proyectos cuya ejecución involucra un alto volumen de inversión este análisis se realiza, por lo general, con la ayuda de un modelo de simulación agro-hidrológico. Esto se realiza a través del uso de técnicas más complejas, para la determinación de las superficies regadas y las posteriormente cosechadas, como por ejemplo, realizando modelaciones que permitan efectuar balances de humedades en las áreas de riego.

Además, en el diagnóstico se debe definir claramente el origen, magnitud y características del problema actual que se pretende resolver.

Finalmente, será necesario especificar los criterios utilizados en la detección del problema, verificando la confiabilidad y pertinencia de la información usada para este fin, señalando en cada caso su origen y los supuestos considerados.

## **Optimización de la situación actual**

La evaluación del proyecto se determina en base a los flujos de costos y beneficios, originados al comparar las situaciones sin y con proyecto.

La situación sin proyecto corresponde a la situación actual optimizada, la cual se logra mediante la incorporación de los proyectos que ya se ha decidido su ejecución; mediante obras de inversión menores o marginales; y la aplicación de medidas de gestión, que mejoren las condiciones de operación y de servicio de la infraestructura. Esto se refiere a realizar cambios en las reglas de operación de un embalse, mejoramiento en la eficiencia de ciertos puntos estratégicos, etc.

Otro tipo de medidas pueden proponerse luego de un estudio sobre la distribución actual de los derechos de agua.

Con esto se consigue que en la evaluación de los proyectos planteados, no se sobreestimen los beneficios atribuibles a su ejecución, por considerar beneficios correspondientes a la optimización de la situación actual.

En resumen, en esta sección, se debe describir claramente la situación actual y la situación adoptada sin proyecto.

En muchos casos la "situación optimizada" implica incurrir en costos adicionales con respecto a la situación actual, los que requerirían también de una evaluación antes de ser realizados. Es decir, se debe comprobar que lo que se propone como "situación actual optimizada" es mejor para el país que la situación actual.

Esto resulta de gran importancia dado que si el proyecto en estudio no es factible técnica ni económicamente, el proyecto a ejecutar corresponde la optimización antes mencionada. En este caso se debe hacer una referencia explícita a las acciones necesarias para llegar a esta situación, indicando sus correspondientes costos y beneficios.

## Alternativas de proyecto

Se deben estudiar y describir todas las alternativas que den solución al problema en análisis, que sean técnicamente factibles de realizar y que se enmarquen en las políticas del sector vigentes a la fecha, explicando sus características principales, los costos de inversión y operación, las ventajas y desventajas.

Es normal que en un proyecto de riego se adopten diferentes medidas para evitar pérdidas o aprovechar el agua que escurre por canales; así por ejemplo, una obra de mejoramiento puede contemplar la realización de ensanches de canales, limpieza y revestimiento especial de ellos, construcción de tranques nocturnos, etc., acciones que

contribuyen a una mejor utilización del agua.

Cada una de las alternativas debe ser evaluada en forma separada, en la medida que sean subproyectos separables. pues puede ocurrir que los costos actualizados, incurridos al implementar alguno de los subproyectos, sean mayores a los beneficios actualizados que reporta. De esta forma se deberá realizar el proyecto si es rentable, sin invertir en aquel o aquellos subproyectos que no lo son.

Las alternativas pueden considerar desde la realización de un subproyecto, hasta diferentes combinaciones entre varios subproyectos dependientes.

Un tipo de subproyecto se puede referir al mejoramiento tecnológico, que contempla la combinación más adecuada de los recursos disponibles, y la racionalización en uso del agua, de acuerdo a la legislación existente. Otro tipo puede ser la construcción de obras para mejorar los sistemas de conducción y de distribución de las aguas actuales. Un tercer tipo puede ser la construcción de obras mayores. La ejecución de cada uno de estos subproyectos o las combinaciones entre ellos, dan como resultado una mayor superficie bajo riego.

La evaluación de las combinaciones entre subproyectos se puede efectuar considerando que si uno de ellos (o más de uno según sea el caso) está materializado, analizar cuando se hace rentable la realización del otro (o los otros), dentro del horizonte de evaluación.

Unido a lo anterior, es fundamental analizar los planes de desarrollo agropecuario existentes. La eficiencia en la aplicación de acciones de capacitación en tecnología agropecuaria, capacidad empresarial y mano de obra, tiene gran influencia sobre la efectividad y viabilidad de un proyecto de regadío.

En proyectos más complejos, para el desarrollo de este punto, se debe utilizar un modelo de simulación agro-hidrológico.

## Preselección de alternativas

El desarrollo de este punto dependerá del tipo y número de alternativas que den solución al problema en análisis.

Si el conjunto de opciones es numeroso, es necesario hacer una evaluación preliminar cuyo resultado genere dos o tres soluciones posibles, las que posteriormente serán evaluadas en detalle. Además, de las razones económicas pueden haber razones técnicas, institucionales u otras, por las cuales se puedan descartar, a priori, algunas alternativas de solución.

La comparación para seleccionar proyectos, entre diferentes alternativas, debe ser realizada para el mismo horizonte de evaluación. Si dos alternativas tienen diferente vida útil, se debe utilizar como criterio de decisión el Costo Anual Equivalente, que permite comparar proyectos de distinta vida útil.

Si un proyecto tiene subproyectos dependientes, la elección debe hacerse basada en la comparación de todas las alternativas pertinentes y seleccionar aquella que tenga el mayor valor actual neto. Si existen los subproyectos A y B y sus beneficios y costos están relacionados, existen tres alternativas: puede realizarse únicamente A, o únicamente B, o ambos conjuntamente; en cualquier caso la selección se realiza calculando el VAN de cada una y comparando los resultados.

En los proyectos de regadío de mayor complejidad y altos costos se hace necesario realizar el anteproyecto de alternativas. En general, se incluye un anteproyecto de las obras matrices, con el grado de detalle que permita definir sus características físicas y obtener una razonable aproximación al proyecto definitivo. En este caso se consideran factores tales como, sismicidad del área, materiales disponibles, aprovechamiento de materiales provenientes de excavaciones, condiciones de operación del embalse, etc.

## Análisis y estimación de la demanda futura

El proceso de determinar la demanda futura es complejo, porque no sólo depende de la demanda actual sino también del impacto del proyecto en su área de influencia.

No debe olvidarse que existen ciertos factores que hacen variar el comportamiento de la demanda, y que por lo tanto se deben incluir en su determinación, por ejemplo: el volumen y localización espacial de la producción, la distribución territorial y el nivel de ingreso de la población, el precio de los bienes sustitutos y complementarios, etc.

## Evaluación del proyecto

### Descripción de beneficios y costos

Los proyectos de riego, como ya se mencionó, pueden aumentar la disponibilidad de agua, como también mejorar la regulación o la eficiencia en el uso del recurso hídrico existente. Esto permite la incorporación de nuevas tierras a la producción y mejorar los rendimientos de aquellas que se regaban y a las cuales, producto del proyecto, les aumentó la seguridad de riego.

En general los costos de estos proyectos, están relacionados con las obras de regadío, con el acondicionamiento de terreno (nivelación, construcción de acequias, desmonte, etc.), y con los recursos necesarios para disponer de los insumos y factores requeridos en la producción.

Los efectos indirectos como la mayor actividad en la zona, sólo se considerarán si los mercados en que interactúan tienen distorsiones como sería el caso de externalidades, impuestos o subsidios discriminatorios, empresas de carácter monopólico o monopólico, etc.

Los beneficios o costos a considerar en estos casos se calculan a partir de los incre-

mentos (positivos o negativos) de producto o servicio ajustados por la distorsión respectiva.

## Estimación de beneficios

Los beneficios de los proyectos de riego se derivan del aumento en la disponibilidad de agua, y de las mejoras en la regulación o eficiencia del sistema.

Dichos beneficios se reflejan en la posibilidad de incorporar nuevas tierras a la producción, y en el aumento en la seguridad de riego de áreas que antes se regaban. Para estas últimas, la ejecución del proyecto permite por un lado, aumentar los rendimientos de la producción anterior, al tener una mayor dotación y frecuencia de agua; y por otro, cambiar a cultivos más rentables, al disminuir el riesgo asociado a la oportunidad y cantidad del recurso disponible.

Para determinar los beneficios del proyecto se pueden usar dos métodos: método del valor incremental de la tierra (estimación de los aumentos en el valor de la tierra); y método del presupuesto (estimación del valor actual neto de los aumentos de la producción agrícola).

### Método del valor incremental de la tierra

Consiste en atribuir al recurso agua la diferencia que existe entre el valor de la tierra, de igual calidad y localización, en condiciones de riego o de secano. Considera, por lo tanto, que el *valor presente* de los beneficios de las futuras dotaciones de agua que recibirá el área, corresponde a la diferencia de precios existentes entre las tierras de riego y de secano, bajo las condiciones aludidas. El precio de las tierras con riego se considera libre de mejoras, (de infraestructura, por ejemplo); es decir, el precio (o aumento) refleja los retornos producidos por

la disponibilidad de agua, y no por efecto de las mejoras.

Este método responde a un criterio de evaluación privada, puesto que el incremento del valor de la tierra se basa en precios de mercado observados y no tiene en cuenta otros efectos económicos no captados por el mercado de la tierra.

Para efectos de evaluación en la determinación de la superficie de riego, corresponde determinar aquella que tiene una seguridad de riego del 85%, de acuerdo a los criterios antes mencionados.

### Método del presupuesto

Consiste en la determinación de los beneficios netos que se obtendrán por aumento de la productividad de la tierra, debido al proyecto. En otras palabras, consiste en determinar el diferencial de beneficios y costos agrícolas que se producen en la situación sin y con proyecto. Puede aplicarse tanto para una evaluación privada como para una social, corrigiéndose, para este último caso, las distorsiones que existan en los mercados, aplicando los precios sociales.

Los beneficios agrícolas se estiman sobre la base de proyecciones de precios y producciones por hectárea. Las producciones por hectárea para cada cultivo, pueden hacerse basadas en la información de los últimos años, lo más desagregada posible. Estos datos son, en general, promedios zonales y, por tanto, subestiman los aumentos de producción debido a la incorporación de nuevas tecnologías.

Para la situación con proyecto se debe realizar la proyección de los patrones de cultivo, de rendimientos y producciones por hectárea, que permitirá la materialización del proyecto.

Dado que lo que se desea es estimar el beneficio neto anual, se deben tener en cuenta todos los costos requeridos para obtener la producción agrícola (por ejemplo, fertilizantes, salarios, etc.), y restarlos de los

ingresos brutos. De este modo, se obtiene el beneficio neto atribuible a la disponibilidad de agua.

En el costo deben incluirse todos los elementos necesarios para llevar adelante la producción; incluso debe computarse el retorno para el empresario, el que debe ser calculado sobre la base de lo que podría ganar en la mejor alternativa que tenga.

Para utilizar este método de evaluación los beneficios y costos deben ser proyectados en forma anual y, con el uso de la tasa de descuento, se obtiene el valor presente del beneficio neto. La dificultad reside en seleccionar valores apropiados para la proyección.

Es claro que los flujos considerados en la evaluación son dependientes de variables aleatorias (caudales disponibles, precipitaciones, etc.), por lo cual cualquier valor que se utilice en el proyecto será válido sólo para la serie estadística usada, y como ésta no tiene por qué repetirse de igual forma en el futuro, se puede estar sobre o sub-estimando los verdaderos beneficios netos del proyecto en análisis.

Para atenuar la existencia de este problema hay dos alternativas:

- Se determina el área con seguridad de riego 85% y se proyectan los costos y beneficios suponiendo que se cosechará esa área, durante todo el horizonte de evaluación. Para esto se aplica los procedimientos descritos anteriormente, calculando los beneficios y costos para ese año. Luego estas cifras se proyectan para todo el horizonte, y utilizando la tasa de descuento se calculan los valores netos.
- En la segunda alternativa se determinan los flujos de beneficios y costos para cada año, como se indicó anteriormente, calculando las superficies cosechadas en cada oportunidad y luego se saca un promedio. Este es el valor que se proyecta y, con el uso de la tasa de descuento pertinente, se obtiene el valor presente del beneficio.

Un aspecto importante a considerar en ambas alternativas, tiene relación con el tiempo de incorporación al riego de los suelos que son de secano, y con el proceso de adopción de nuevas tecnologías.

En general, el proceso de incorporación al riego y de adopción de tecnologías se debe a un conjunto de factores interrelacionados, los que sobre la base de la experiencia han demostrado que pueden asimilarse a una curva logística, cuya expresión es del tipo:

$$T = \frac{K}{1 + e^{-(a+bt)}}$$

donde:

- T : Tasa de adopción o incorporación (%)
- a : Parámetro que define la posición de la curva respecto al tiempo
- b : Coeficiente que determina la tasa de crecimiento
- K : Nivel máximo por alcanzar que, en este caso, se supone 100%
- e : Logaritmo natural
- t : Tiempo en años.

Para determinar la superficie con seguridad de riego 85%, en la primera alternativa (valor incremental de la tierra) se puede suponer que la situación está en régimen (adopción de tecnologías e incorporación de nuevas tierras de 100%); luego al proyectar los costos y beneficios y formar el flujo del proyecto, se utiliza la curva logística.

Para determinar los beneficios y costos de cada año en el caso de la segunda alternativa (método del presupuesto) se puede suponer que la situación está en régimen; y luego al proyectar el valor promedio se utiliza la curva logística. De otra manera se está suponiendo que la estadística utilizada se volverá a repetir, con la misma periodicidad (número y posición de años secos con respecto a años húmedos).

## Estimación de costos

Para efectos de evaluación se deben considerar todos los costos pertinentes de cada una de las alternativas (costos de inversión.

costos de operación y mantención de las obras).

Cualquiera sea el tipo de proyecto de obra de regadío, la base de los estudios de costos surge de los cálculos de ingeniería. Para ello se determina un presupuesto en términos físicos y luego se establece cuál es el costo de oportunidad de cada uno de los factores que se emplean, en los casos que se estima que los precios de mercado no reflejan el valor de estos insumos para la economía como un todo.

Se debe elaborar un cronograma detallado de cada uno de los rubros de inversión propuestos. Se incluirá, además, una estimación razonable del posible escalamiento de costos. La duración del período de construcción es fundamental, puesto que para efectos de compararlo con los beneficios los costos deben ser descontados (o acumulados) a alguna fecha.

Para incorporar áreas de secano al riego, junto a los costos de inversión en obras matrices, se debe considerar los llamados costos de puesta en riego *extrapredial* e *intrapredial*.

Los costos de puesta en riego *extrapredial* se refieren a los costos en infraestructura que permiten conducir el agua desde el canal u obra matriz hasta la entrada del predio.

Los costos de puesta en riego *intrapredial* corresponden a los costos de acondicionamiento del terreno que se regará, e incluyen los costos de construcción de la infraestructura que permita el riego del predio y los costos de: nivelación del terreno, construcción de acequias, despedrados, desmonte, canales interiores y desagües, caminos interiores y drenajes.

Para todos estos costos (obras y puesta en riego) deben considerarse los costos de operación y mantención de las obras.

En el caso de utilizar en la evaluación un beneficio neto asociado a los cultivos, se debe considerar para áreas cultivadas, que en un determinado año se sequen, un costo de falla que represente los costos incurridos

durante ese año. Para los cultivos permanentes se debe considerar además el tiempo que requieren para entrar nuevamente en producción.

## Cálculo de indicadores

### Valor actual neto privado y social

Las alternativas de proyecto se evalúan identificando claramente los beneficios y costos atribuibles, a la mayor disponibilidad o mejor distribución de agua que generan. Dichas alternativas se comparan con la situación sin proyecto para establecer cuál es la más rentable.

Una vez estimados los flujos anuales de beneficios y costos, tanto privados como sociales, se utiliza el criterio del Valor Actual Neto (VAN) privado y social, para medir la rentabilidad de cada alternativa y compararla con otras alternativas de inversión.

Si para determinar los beneficios netos atribuibles al proyecto se utiliza el método del valor incremental de la tierra se tiene inmediatamente un valor actualizado.

Si se utiliza el otro método se deben seguir las recomendaciones indicadas, para evitar sobreestimar o subestimar el valor actual neto, debido a la ocurrencia de los eventos hidrológicos particulares a la serie estadística utilizada y que resultan claves en la estimación de los beneficios.

### Determinación del tamaño óptimo

En proyectos de regadío es importante determinar el tamaño óptimo de las obras. El número y las capacidades de estas obras deben optimizarse, determinando aquella alternativa de tamaño que maximiza el VAN.

A fin de determinar el tamaño óptimo y no inducir a sobre o subdimensionamientos del proyecto, se debe prestar especial atención y cuidado a la proyección de la situa-



ción actual optimizada y a la proyección basada en eventos probabilísticos.

Dentro de la búsqueda del tamaño óptimo se deben considerar otros elementos que pueden influir en el dimensionamiento de una determinada obra. Por ejemplo, la determinación del volumen de un embalse depende de las eficiencias de aplicación del riego y de las eficiencias de regulación nocturna. Por lo tanto, se debe proyectar en el tiempo, los cambios esperados en el uso de las tecnologías de riego y la inversión en tranques de regulación nocturna, y luego determinar el volumen del embalse.

### **Momento óptimo de ejecutar el proyecto**

El momento óptimo de ejecutar el proyecto se determina a través del valor actual neto como indicador de rentabilidad. Se debe comparar la alternativa de ejecutar el proyecto en el instante del tiempo presupestado originalmente, y su postergación en un período más. Si el valor actual neto de postergar el proyecto es mayor que el de hacerlo en el período antes señalado, el proyecto debe postergarse. La situación contraria indicaría que el proyecto debe ejecutarse a la brevedad posible.

Si el VAN indica que es conveniente postergar, se debe seguir analizando postergaciones sucesivas, hasta encontrar el año en que el valor actual de los beneficios netos de postergar la ejecución de proyecto sea menor que el de no postergarlo, lo que indicaría que se ha determinado el año óptimo de iniciar el proyecto.

### **Análisis de sensibilidad**

Es de gran importancia efectuar un análisis de sensibilidad de las variables que son más relevantes en la determinación de la rentabilidad del proyecto, tales como: costos, ingresos, período ejecución, eficiencias de aplicación del riego, rendimiento, etc.

## **Beneficios y costos no medidos**

Es necesario tener presente que los indicadores de rentabilidad se calculan a partir de los beneficios y costos que pudieron cuantificarse. En ese sentido, si hay alguna alternativa en donde no fue posible determinar todos sus beneficios o costos no significa que deba descartarse del análisis.

## **Conclusiones y recomendaciones**

En esta sección debe incluirse las principales conclusiones del estudio y en forma específica las recomendaciones que se sugieren.

## **Elementos condicionantes del proyecto**

Deberá indicarse todos aquellos factores externos al proyecto que condicionan los resultados obtenidos (procesos productivos y tecnología asociada, tecnología y tamaño óptimo, tamaño y mercado del producto e insumo, estacionalidad de los insumos, razones institucionales, de geografía física, economías o deseconomías externas, etc). Deberá incluirse en este punto aquellas variables que presentan más problemas en su estimación, como también los problemas más comunes que presentan los proyectos en análisis.

## **Financiamiento**

Si corresponde, se deberá indicar los criterios utilizados para el financiamiento del proyecto y las instituciones que en él participan. Al mismo tiempo deberá indicarse los requisitos que se exigirán a las instituciones que participan en el financiamiento (carta compromiso de los regantes, del presidente asociación de canalistas, etc.)

## Presentación del documento

La presentación del proyecto o estudio resultante debe incluir al menos todos los puntos señalados en la sección **preparación de proyectos** de esta pauta, agregando un primer capítulo llamado "Resumen y Conclusiones" donde se presente una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de modo que sea autosuficiente para entender todo el proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

Con respecto a la forma de presentación del documento que contiene el detalle del estudio de preinversión, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.
- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.
- Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con un número que se explicará a pie de página.

## Metodología de preparación y presentación de proyectos de salud

### Introducción

La política del gobierno en materia de inversiones está encaminada a lograr una eficiente asignación de los recursos de inversión, desarrollando aquellos proyectos que generen el máximo beneficio social.

Bajo este contexto la metodología que se presenta tiene por objetivos:

- Ser una guía para la preparación de proyectos de salud, ya que cualquier método que se utilice para su evaluación sólo tiene sentido en la medida en que previamente el proyecto haya sido bien preparado.
- Permitir hacer un ordenamiento según prioridad de los proyectos, herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones que enfrenta la autoridad en materia de inversiones.

Cabe destacar que el trabajo metodológico que se indica se centra fundamentalmente en una buena formulación del proyecto, debido a que los proyectos de salud no se evalúan pretendiendo obtener indicadores de rentabilidad socio-económica (VAN, TIR); ya que existe gran complejidad en la valoración en términos monetarios de los beneficios sociales atribuibles a este tipo de proyectos.

Por otra parte, dado que la organización en la entrega de prestaciones es de tipo piramidal; considerando en la cúspide establecimientos de alta complejidad (atención terciaria) y en la base unidades de atención primaria, pasando por atenciones de mediana complejidad, es que se distinguen tres tipos de establecimientos que dan origen a distintos procesos de proyectos, tales como construcción, reposición y ampliación de postas, consultorios y hospitales.

El método de trabajo que se presenta es aplicable a los tres tipos de establecimientos indicados; estudiándose cada problema en el contexto del área en que está ubicado. Se tiene así, entonces, una visión de sistema para efectos de análisis y búsqueda de soluciones.

### Fundamentos generales de la metodología

El principal propósito de los programas y proyectos de salud es salvar vidas y reducir las enfermedades. Esa acción contra las enfermedades puede tener básicamente dos fundamentos: uno económico y otro humanitario.

Desde el punto de vista económico, la salud contribuye a la formación de capital humano en el sentido de que las personas, como agentes productivos, son mejoradas y como resultado se obtiene un retorno en el futuro.

Es decir, que los servicios que prestan los establecimientos de salud se incorporan al individuo y tienen un valor para él y para la sociedad (país). Una parte de ese valor se traduce en un incremento de producción futura. En consecuencia, se puede decir que la salud es un bien de consumo y de inversión, tal como ocurre en otras formas de formación de capital humano, como por ejemplo la educación.

Como todos los proyectos, los de salud también dan origen a costos y a beneficios. En general no suele haber dificultades para estimar los costos de los programas o los proyectos de salud, que consisten en el valor de los bienes materiales y del tiempo de los recursos humanos que utilizará el proyecto o programa.

En cuanto a los beneficios de un aumento en la salud, puede decirse que consisten en disminuir las enfermedades o reducir sus efectos perniciosos.

Los efectos de las enfermedades sobre el capital humano son, en general:

- muertes anticipadas
- pérdida de tiempo de trabajo y de ocio
- debilidad, que se traduce en pérdida de capacidad de trabajo

Todo ello se traduce en perjuicios que serían parcialmente evitados con adecuadas atenciones de salud. La parte de perjuicios de las enfermedades que podría ser evitada con cierto proyecto constituye precisamente los beneficios de ese proyecto.

Una parte de esos beneficios es teóricamente medible y está relacionada con el mayor tiempo disponible para trabajar que una persona puede disponer por el hecho de disminuir los efectos de las enfermedades, y con la mayor productividad.

Otra parte de los beneficios (salud como bien de consumo) no son medibles en términos monetarios: perjuicio de tipo afectivo en relación a la familia, incomodidad por el hecho mismo de estar enfermo, etc.

En relación a la parte "medible" de los beneficios, habría que realizar estimaciones básicamente en dos áreas:

- Estimar ganancias en tiempo de trabajo productivo debidas a un determinado proyecto: para ello es necesario contar con estimaciones efectuadas por especialistas en la materia (médicos). En esta área existe una gran escasez de estadísticas.
- Asignarle un valor monetario al tiempo ahorrado por una postergación de la muerte o por menor cantidad de días no trabajados debido a la enfermedad, incluso por realizar el trabajo con menor eficiencia debido a la debilidad ocasionada por la enfermedad. Para estimar estos valores existen una serie de problemas:  
¿Cuánto ganará una persona el resto de su vida?

Depende de su edad, de la edad a su muerte, de si está o no trabajando, de su contribución al producto a cada edad.

¿Cuánto vale el tiempo de las personas que no trabajan, o que trabajan y no reciben una remuneración?

Además, con este criterio podría llegarse a la conclusión de que es más conveniente salvar la vida o disminuir las enfermedades de las personas que son "más productivas", o de una persona joven en lugar de un bebé.

Estos inconvenientes, entonces, surgen cuando se pretende asignar un valor a los beneficios "medibles" de un proyecto de salud. Aparte están, como se mencionó, los no medibles<sup>1</sup>.

Debido a ello, se ha propuesto otra metodología para decidir acerca de los proyectos de salud, siendo ésta la de *Costo-Efectividad*. Para aplicarla se parte de la definición de objetivos en la provisión de salud y luego se busca la alternativa que logra ese objetivo al mínimo costo total. Los objetivos suelen expresarse como tasas (de consulta, control, de ocupación de camas, de exámenes radiológicos, etc.) y esas tasas se aplican a la población del área de influencia del establecimiento.

Este enfoque metodológico, entonces, considera como efecto del proyecto su contribución al logro de los objetivos del sector, el que se contrasta con el costo involucrado en entregar cada atención. El tipo de atención que se otorga corresponde a las prestadas por los programas existente, los que tienen como objetivo prevenir, recuperar y rehabilitar al individuo y, son entregadas en distintos niveles de complejidad de acuerdo a los requerimientos del beneficiario.

De acuerdo con lo ya indicado, cabe destacar que para que esta metodología permita el análisis de proyectos de salud, requiere que se establezcan objetivos claros en materia de salud proveída por el gobierno. Esos objetivos tendrán que estar de acuerdo con las pautas que dé la autoridad política respecto del nivel de salud que desee asignar a la población. Además, los objetivos deberán

1. Sin embargo, es factible medir este tipo de beneficios en algunos programas específicos, tales como vacunaciones contra la poliomeilitis u otras.

estar de acuerdo con los recursos disponibles para el país.

Si los objetivos se establecieran a un nivel muy alto, podría darse el caso de justificar proyectos en ciertas zonas del país que, de acuerdo con esos objetivos, permitan alcanzar un alto nivel de salud, mientras que en otras zonas no se cubren las prestaciones más básicas.

Incluso es posible que los objetivos se vayan modificando a través del tiempo, en el sentido de mejorar las tasas de atención, realizar estudios de salud más avanzados tecnológicamente, etc. Esa mejora será factible en la medida que el país disponga de más recursos y que haya consenso en destinar más recursos al Sector Salud.

Esta metodología supone que existe una demanda social por prestaciones de salud que sería una expresión de los objetivos concretos establecidos por el gobierno, y que el país desea y está dispuesto a pagar (utilizar recursos) para lograr esos objetivos.

Es importante tener en cuenta que ciertos grupos de nivel socio-económico bajo seguramente tienen una demanda privada de salud que está muy por debajo de lo que se considera la demanda social, ya sea debido a que ellos personalmente no valoran las prestaciones de salud o bien porque tienen escaso poder adquisitivo.

Sin embargo, con esta metodología no se valoran los servicios de salud entregados a estos grupos según su demanda privada, sino según la demanda considerada social. Esto es importante, ya que si no fuera así, se estarían favoreciendo los proyectos que prestan servicios a grupos de personas con altos ingresos, ya que su demanda de salud sería mayor que la de grupos con bajos ingresos.

## Preparación de proyectos<sup>2</sup>

### Identificación del problema

Una idea de proyecto surge a raíz de la detección de un problema, pero antes de adoptar una solución directa a él, se debe estudiar las posibles causas que lo originan, considerando la realidad del sector Salud en el área correspondiente.

Cada proyecto debe tener como objetivo inmediato el dar solución a problemas puntuales, claramente identificados, que en mayor o menor medida dificultan la labor del sector en el logro de sus objetivos.

Normalmente, un análisis rápido permite identificar los efectos de un problema antes que sus causas. es por ello que el proyecto debe formularse en términos que permita solucionar la causa del problema que se detecta en primera instancia. Por lo tanto, una buena *Identificación del Problema de Fondo* es el punto de partida para originar el proyecto preciso.

### Diagnóstico del sector salud en el área de influencia

El establecimiento en el cual se detecta el problema constituye el centro de referencia del área para la cual se hará el diagnóstico. Corresponde, entonces, identificar el área de influencia, la que está formada por todos los establecimientos a los cuales irían los pacientes, en el caso de no resolverse el problema en el establecimiento que lo presenta. Luego, se debe hacer un *Análisis de cada Establecimiento* del área en términos de oferta y demanda de atenciones de salud.

2 Documento base "Manual de Preparación y Priorización Proyectos de Inversión Sector Salud". Versión actualizada 1986. MIDEPLAN-MINSAL.

## Oferta

Se entiende por oferta el recurso humano y físico disponible actualmente para otorgar las atenciones de salud en un determinado período<sup>3</sup>. Su medición se hace a través de:

- Número de controles y consultas entregadas por cada programa (infantil, materno y adulto), en el caso de los consultorios generales y, número de egresos por servicio clínico y exámenes en el caso de hospitales. Estas mediciones deben hacerse respecto de los datos del último año.
- Disponibilidad de recursos humanos (personal profesional, paramédico y auxiliar).
- Disponibilidad de recursos físicos en términos de infraestructura y equipamiento.

## Demanda

Se entiende por demanda, el número de atenciones que socialmente sería deseable otorgar o el número de egresos hospitalarios que debieran ocurrir y exámenes que fuera necesario realizar, de acuerdo a la población asignada a cada uno de los programas o servicios clínicos, según corresponde, en un determinado período (el mismo usado para la oferta). Esta demanda será medida utilizando como base de información la población asignada y las metas de salud que se desea alcanzar, de acuerdo a la política de salud vigente<sup>4</sup>. Para ello se debe proceder a estimar cada uno de los siguientes requerimientos:

- Controles y consultas esperables de entregar por cada uno de los programas, en el caso de consultorios. Para los hospita-

les, el número de egresos por servicio clínico esperables de realizar. En este último tipo de establecimiento, la estimación de la demanda no es sencilla, ya que depende del nivel de complejidad de éste. Se debe contemplar, como aspecto relevante, las atenciones referidas desde centros menos complejos hacia aquellos de mayor complejidad, de modo de rebajar o incorporar este número de prestaciones, según corresponda.

- Requerimientos de recursos humanos. Se calcula la cantidad de personal profesional, paramédico y auxiliar necesario para entregar el número de atenciones estimadas.
- Requerimientos de recursos físicos. Considerando el rendimiento de los recintos (boxes de atención, pabellones quirúrgicos, etc.) y coeficientes técnicos definidos por el Servicio de Salud pertinente, de acuerdo a sus estándares objetivos (metas), se calcula el número de recintos para entregar el número de atenciones esperadas.

Además de esta información, se debe incluir cualquier otro dato que se considere relevante y que de alguna forma esté afectando a la oferta o a la demanda. Por ejemplo, radicaciones de poblaciones en el área en que se localizará el proyecto.

Una vez que se cuenta con estos antecedentes, corresponde elaborar las conclusiones del diagnóstico, las que se fundamentan en el balance oferta-demanda de atenciones, recursos humanos y recursos físicos.

3. Existen múltiples tipos de atenciones, por ejemplo: consulta de morbilidad, control de salud, egresos hospitalarios, inmunizaciones, consulta de especialidad, etc.

4. Las metas están referidas, en el caso de consultorios generales, a las tasas de control y consulta utilizadas en cada uno de los programas: infantil, materno y adulto (tasa consulta/habitante-año) y, a la tasa de egreso hospitalario por servicio clínico, en el caso de hospitales.

## Optimización situación base y alternativas de solución

Se debe analizar las conclusiones del diagnóstico y llegar a plantear el problema que se abordará. La idea es que aquí se planteen la causa última que está constituyendo el problema que dió origen al proyecto. Vale decir, se debe definir el problema actual estableciendo claramente las relaciones causa-efecto detectadas en el diagnóstico.

Por ejemplo, si inicialmente se detecta atochamientos en un establecimiento y el diagnóstico demuestra déficit de boxes, el problema se plantea como causado por infraestructura. Sin embargo, se debe poner especial atención en esta etapa ya que un mismo problema puede obedecer a causas muy diferentes siendo sus soluciones también diferentes.

Una vez efectuado este análisis en el área de influencia como un todo, corresponde identificar alternativas de solución al problema que se ha planteado. Muchas veces, la solución no se traduce necesariamente en la construcción de una obra física, sino en medidas de tipo administrativo que constituyen la "situación base optimizada". Una vez hecha la optimización, corresponde visualizar el problema en un horizonte de 5, 10 ó 15 años, de modo de no dar soluciones sólo para el presente. Para ello, primero se proyecta la población asignada (beneficiaria) a cada establecimiento del área de influencia (establecimientos de igual complejidad o alternativos), con el fin de estimar el déficit en el horizonte utilizado. Lo anterior, permitirá determinar los requerimientos de infraestructura para los cuales se deben identificar alternativas de solución (ideas de proyectos) que sean factibles técnicamente.

Posteriormente, se debe especificar cada alternativa en términos de atenciones, egresos hospitalarios y/o intervenciones quirúrgicas, recursos humanos y recursos físicos. A partir de esta información se define el tamaño del establecimiento y su localización.

En el caso de una posta, su tamaño se define para un rango de población determinado, para lo cual existen "proyectos tipo", es decir, una superficie y diseño ya establecidos. Su localización está determinada por la existencia de núcleos poblacionales que no cuentan con establecimientos de salud y en los cuales la población no tiene acceso expedito a otros establecimientos.

Para los consultorios, el tamaño se define de acuerdo al número de atenciones que se entregarán en el horizonte utilizado, el que está en función del número de recintos necesarios para prestar las atenciones. Por su parte, el tamaño de un hospital queda determinado por el número de camas, número de pabellones quirúrgicos, de servicios de apoyo y servicios clínicos que tendrá el establecimiento en el horizonte de proyección.

Para establecer la localización óptima de cualquiera de estos establecimientos se debe tener en cuenta: topografía del lugar, tipo de red vial, medios de movilización existentes y accesibilidad.

## Selección de la mejor alternativa

Una vez especificada cada alternativa, la selección entre ellas se hace con el criterio de costo-eficiencia; es decir, considerando que todas las alternativas postuladas entregan un beneficio similar, se opta por la que tenga el menor costo involucrado en la entrega de cada atención.

Para obtener esta información, primero se debe hacer una estimación de los costos de cada alternativa tanto de inversión como de operación y mantención (estos costos se refieren sólo a los atribuibles a la alternativa):

- Costos de inversión, corresponden a aquellos en que se debe incurrir desde el inicio de la ejecución del proyecto hasta dejarlo en condiciones de empezar a funcionar. Entre éstos se identifican los costos de terreno, construcción, equipamien-

to e inversiones complementarias cuando corresponda.

- Costos de operación, referidos a aquellos gastos necesarios para que el proyecto funcione y entregue bien el servicio para cuya producción fue ejecutado. Se identifican dentro de estos costos principalmente, las remuneraciones, material y medicamentos y, secundariamente, los útiles de escritorio, de aseo y gastos generales.
- Costos de mantención, referidos a aquellos gastos necesarios para que el proyecto pueda mantener tanto el nivel como la calidad de operación para la cual fue diseñado. Se identifican aquí los costos de mantención de equipos y edificios.

Cabe destacar que los costos a utilizar corresponden a los costos adicionales que genera el proyecto, por ejemplo: en el caso de una ampliación los costos pertinentes son los atribuibles sólo a la ampliación y en el caso de una reposición o construcción, los costos adicionales serán iguales a los totales.

Una vez obtenido el costo total adicional involucrado en cada una de las alternativas, corresponde poner dichos costos en términos comparables para así optar por el menor de ellos.

Para este efecto se utiliza el método de estimar el Costo Equivalente por Persona (CEP), Costo Equivalente por Atención (CEA) o Costo Equivalente por Egreso (CEE), según se trate de una posta, consultorio u hospital respectivamente.

Este método considera el costo de inversión expresado en términos anuales y los costos de operación y mantención anuales expresados como un promedio entre el año 1 y el año de dimensionamiento (horizonte utilizado). Estos costos se dividen por la población beneficiada con el proyecto en el caso de las postas; por el promedio de atenciones adicionales que se espera entregar el año 1 y el año de proyección utilizado, en el caso de consultorios y, por el promedio de egresos adicionales que se espera tener el

año 1, y el año de dimensionamiento considerado, para el caso de hospitales.

El cálculo de estos indicadores se presenta a continuación:

**Posta:**

$$CEP = \frac{CT \cdot 0,12 + CC \cdot 0,146824 + CE \cdot 0,277410 + CO + CM}{PB}$$

donde

- CEP : Costo equivalente por persona beneficiada con el proyecto (en establecimiento de madera).
- CT : Costo del terreno.
- CC : Costo construcción.
- CE : Costo equipamiento.
- CO : Costo de operación anual.
- CM : Costo de mantención anual.
- PB : Población beneficiada con el proyecto, que corresponde al tamaño de población que será atendida por éste y se expresa en número de personas.

En la estimación de los factores se ha considerado:

- Tasa social de descuento 12%
- El valor del terreno se recupera en un 100% al final de la vida útil del proyecto
- Construcción en madera con vida útil de 15 años
- Equipamiento con vida útil promedio de cinco años

**Consultorio General**

*Establecimiento de albañilería*

$$CEA = \frac{CT \cdot 0,12 + CC \cdot 0,1241436 + CE \cdot 0,1769841 + CO + CM}{PAA}$$

donde

- CEA : Costo equivalente por atención (en establecimiento de albañilería).
- CT : Costo del terreno.
- CC : Costo de construcción.
- CE : Costo de equipamiento.
- CO : Costo de operación anual (promedio).
- CM : Costo de mantención anual (promedio).



**PAA** : Promedio de atenciones adicionales anuales, expresado en número de atenciones.

En la estimación de los factores se ha considerado:

- Tasa social de descuento 12%
- Valor del terreno se recupera en un 100% al final de la vida útil de proyecto.
- Construcción en albañilería con vida útil de 30 años
- Equipamiento con vida útil de 10 años

#### Establecimiento de madera

$$CEA = \frac{CT \cdot 0,12 + CC \cdot 0,146824 + CE \cdot 0,1769841 + CO + CM}{PAA}$$

donde

- CEA** : Costo equivalente por atención (en establecimiento de madera).
- CT** : Costo del terreno.
- CC** : Costo de construcción.
- CE** : Costo de equipamiento.
- CO** : Costo de operación anual (promedio).
- CM** : Costo de mantención anual (promedio)
- PAA** : Promedio de atenciones adicionales anuales, expresado en número de atenciones.

En la estimación de los factores se ha considerado:

- Tasa social de descuento 12%
- Valor del terreno se recupera en un 100% al final de la vida útil del proyecto
- Construcción en madera con vida útil de 15 años
- Equipamiento con vida útil de 10 años

#### Hospitales

$$CEE = \frac{CT \cdot 0,12 + CC \cdot 0,124144 + CE \cdot 0,176984 + CO + CM}{PEA}$$

donde

- CEE** : Costo equivalente por egreso (en establecimiento de albañilería).
- CT** : Costo del terreno.
- CC** : Costo de construcción.
- CE** : Costo de equipamiento.
- CO** : Costo de operación (promedio).
- CM** : Costo de mantención (promedio).

**PEA** : Número de egresos anuales adicionales promedio. Corresponde al tamaño de población que será atendida por el proyecto, expresado en número de personas.

En la estimación de los factores se ha considerado:

- Tasa social de descuento 12%
- Valor del terreno se recupera en un 100% al final de la vida útil del proyecto
- Construcción en albañilería con vida útil de 30 años
- Equipamiento con vida útil de 10 años.

Si por alguna razón cambian estas consideraciones, la fórmula correspondiente al factor de recuperación permite recalculer los factores de cada uno de los componentes de la inversión.

$$FR = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}}$$

en que

- FR** : Factor de recuperación.
- i** : Tasa social de descuento.
- n** : Vida útil del proyecto.

Una vez hecho el cálculo de los indicadores correspondientes se presenta un resumen del costo equivalente por persona, atención o egreso, según corresponda, de cada alternativa.

Finalmente, se selecciona aquella alternativa que presenta el menor costo equivalente.

#### Proyecto definitivo

Una vez elegida la alternativa de solución para el problema estudiado corresponde dar la forma definitiva al proyecto. Para ello se debe revisar el estudio de demanda, los requerimientos de recursos humanos, de recursos físicos, localización, estudio de costos y reestimar el costo equivalente correspondiente.

## Indicadores de priorización

El objetivo de esta etapa de la formulación del proyecto es culminar la preparación del mismo con la elaboración de un indicador global que implícitamente considere los beneficios y costos derivados del proyecto.

Este indicador permite comparar entre proyectos que entregan un nivel similar de salud y de este modo establecer prioridades en la asignación de recursos de inversión. Así, entonces, se cuenta con un indicador que permite priorizar entre postas y otro entre consultorios.

La pauta utiliza para priorizar cuatro indicadores, los cuales tienen relación directa con los objetivos planteados en la Estrategia Global de Salud del país. Los que se resumen finalmente en el Indicador Global del Proyecto (IGP). El IGP considera más conveniente ejecutar aquellos proyectos que contribuyan mejor a alcanzar los objetivos del sector y para ello utiliza cuatro indicadores: de salud, de cobertura, socioeconómico y de costo.

Los tres primeros constituyen variables "proxy" de los beneficios y el cuarto entrega el costo anual imputable a cada persona beneficiada con el proyecto. Es importante tener presente que el IGP considera el enfoque costo-eficiencia, en el sentido de dar prioridad a aquellos proyectos de menor costo. O bien, que para beneficios distintos tengan una razón "costo/beneficio" menor. Se han usado comillas para destacar el hecho que en este caso, mientras los costos se expresan en términos monetarios los beneficios se presentan en términos de puntaje.

Como se indicó, el beneficio está representado por indicadores de salud, de cobertura y socioeconómico con una ponderación de 50%, 30% y 20% respectivamente, lo que permite obtener el puntaje "proxy" del beneficio (o puntaje del proyecto).

## Indicadores de salud

- Tasa de Mortalidad Infantil.
- Porcentaje de niños desnutridos sobre la población en control.
- Porcentaje de partos sin atención profesional.

El puntaje de este indicador se asigna considerando la situación relativa del área geográfica del establecimiento, respecto de la región en que se localiza y respecto del país (AG, R, P).

## Indicador de cobertura

En el caso de postas, se emplea como indicador el origen del proyecto, sea éste, vacío de cobertura o establecimiento en mal estado. En el caso de consultorios, se utiliza el déficit de atenciones que se detectó en cada programa en el diagnóstico (se calcula en forma separada, el déficit para cada programa).

## Indicador socioeconómico

Se utiliza la información de la ficha de caracterización social (CAS), y se construye un indicador promedio para las familias que sean beneficiadas por el establecimiento.

## Puntaje del proyecto

La suma de los puntajes parciales de estos indicadores entrega como resultado el "Puntaje del Proyecto" (PP).

El indicador de costo ha sido estimado en la etapa anterior y expresado como costo equivalente por persona o atención (CEP. CEA).

Una vez obtenido estos indicadores se define el IGP como la razón entre el costo equivalente y el puntaje del proyecto, es decir:

$$IGP_{\text{postas}} = \frac{CEP}{PP} ; IGP_{\text{consultorios}} = \frac{CEA}{PP}$$

donde

IGP : Indicador Global del Proyecto.  
 CEP : Costo equivalente por persona.  
 CEA : Costo equivalente por atención.  
 PP : Puntaje.

Así, entonces, en el listado de proyectos de consultorios será más prioritario aquel que tenga un menor IGP. Cabe señalar que para el caso de hospitales no se cuenta con una pauta que permita priorizar entre este tipo de proyectos.

A continuación se entrega el procedimiento a seguir en la estimación del beneficio atribuible a estos establecimientos.

### Indicadores de salud

Comparando los indicadores referidos al área geográfica del proyecto (AG), a la respectiva región (R) y al indicador a nivel de país (P), se asigna un puntaje según los valores que se señalan a continuación:

- Tasa de Mortalidad infantil:

Si:

AG > R y R > P = 16 puntos  
 AG > R y R < P = 10 puntos  
 AG < R y R > P = 5 puntos  
 AG < R y R < P = 0 puntos

- % menores 6 años desnutridos sobre la población en control

Si:

AG > R y R > P = 17 puntos  
 AG > R y R < P = 11 puntos  
 AG < R y R > P = 6 puntos  
 AG < R y R < P = 0 puntos

- % partos sin atención profesional

Si:

AG > R y R > P = 17 puntos  
 AG > R y R < P = 11 puntos  
 AG < R y R > P = 6 puntos  
 AG < R y R < P = 0 puntos

### Indicador de cobertura

- Postas:

Vacío de cobertura = 30 puntos

Establecimientos

en mal estado = 10 puntos

- Consultorios se asigna un puntaje en función de la magnitud del déficit (D) para cada programa: infantil, materno y adulto.

D > 60 = 10 puntos

30 ≤ D < 60 = 6 puntos

10 ≤ D < 30 = 3 puntos

D < 10 = 0 puntos

### Indicador socioeconómico

Si: CAS Promedio ≤ 1,5 = 20 puntos

1,5 < CAS Promedio ≤ 2,5 = 13 puntos

2,5 < CAS Promedio ≤ 3 = 7 puntos

CAS Promedio > 3 = 0 puntos

Para obtener el CAS promedio se debe anotar el número de familias del área geográfica que existe en cada índice (sólo hasta el índice 5), y luego se suman para obtener un total. Posteriormente, corresponde obtener el CAS Ponderado para lo cual se multiplica el índice con que se caracteriza a la población, por el número de familias en cada índice. Igual que en el caso anterior se suman los cinco valores y se saca un total. Por último, el CAS Promedio del área geográfica se obtiene dividiendo el total del CAS Ponderado por el primer total obtenido.

De este modo, se obtiene el puntaje del proyecto que constituye parte del indicador Global que permite la priorización. Cabe reiterar que dada la forma de obtención de este indicador se está considerando tanto la contribución del logro de los objetivos del sector como los costos involucrados; es decir, se utiliza plenamente el concepto *Costo-Efectividad*.

## Presentación del documento

La presentación del proyecto o estudio resultante debe incluir al menos todos los puntos señalados en la sección **preparación de proyectos** de esta pauta, agregando un primer capítulo llamado "Resumen y Conclusiones" donde se presente una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de modo que sea autosuficiente para entender todo el proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

Con respecto a la forma de presentación del documento que contiene el detalle del estudio de preinversión, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.
- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.
- Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con un número que se explicará a pie de página.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**FUENTE: MIDEPLAN, INVERSION PUBLICA.  
EFICIENCIA Y EQUIDAD (SANTIAGO DE CHILE, 1992)**

**METODOLOGIAS ESPECIALES**

**PROYECTOS VIALES**

**PALACIO DE MINERIA  
1995**

## **Metodología de preparación, evaluación y presentación de proyectos de transporte caminero.**

### **Introducción**

El objetivo del presente trabajo es dar una pauta uniforme para preparar, evaluar y presentar proyectos de Transporte Caminero.

El Sector Transporte Caminero incluye a todos aquellos caminos nacionales, regionales y comunales que unen ciudades, pueblos, localidades rurales o que permiten el acceso a zonas productivas, turísticas, países vecinos, etc.

### **Tipos de proyectos camineros**

Esta metodología permite determinar la rentabilidad social de proyectos camineros del siguiente tipo:

#### **Ampliación**

Corresponde a aquellos proyectos que aumentan la capacidad vehicular de un camino, por ejemplo:

- Construcción de segundas calzadas.
- Construcción de terceras pistas.

#### **Mejoramiento del trazado**

Corresponde a aquellos proyectos que aumentan la calidad del servicio existente mediante cambios en la trayectoria del camino, por ejemplo:

- Disminución de la curvatura de un camino.

- Disminución de las pendientes de un camino.
- Construcción de un camino alternativo o variante.
- Construcción de un túnel que evita una cuesta.

#### **Mejoramiento de la carpeta**

Corresponde a aquellos proyectos que cambian el tipo de carpeta de rodado, a una de mejor calidad, por ejemplo:

- Pavimentación de un camino de ripio.
- Ripiadura de un camino de tierra.

#### **Reposición de la carpeta**

Consiste en renovar parcial o totalmente la carpeta de rodado deteriorada, incluyendo las obras básicas necesarias, por ejemplo:

- Repavimentación de una carpeta de hormigón.
- Recapado con mezcla asfáltica.
- Reposición de la carpeta de un camino de ripio.

#### **Construcción de caminos nuevos**

Corresponde a aquellos proyectos que incorporan zonas con problemas de accesibilidad. Por ejemplo:

- Construcción de caminos de penetración.
- Construcción de caminos costeros.
- Construcción de pasos fronterizos.

#### **Conservación de la carpeta**

Normalmente las conservaciones de caminos no requieren de una evaluación económica, pues son actividades previstas en la vida útil de las obras. No obstante, esta metodología puede servir de apoyo al análisis de políticas de conservación.

Por conservación de caminos se entienden todas aquellas acciones que tienen por finalidad evitar el deterioro acelerado de la carpeta de rodado, postergando su reposición.

Estas acciones se aplican tanto sobre la carpeta misma como sobre sus obras anexas, por ejemplo:

- Reposición de algunas losas de hormigón.
- Bacheo sobre carpeta asfáltica.
- Reperfilado de una carpeta de ripio o de tierra.
- Retape de hoyos.
- Sello de juntas.
- Conservación y mejoramiento de obras de drenaje.
- Conservación de puentes, etc.

## Teoría sobre la cual se basa la metodología

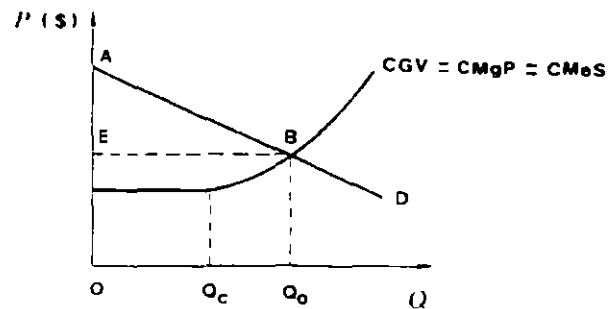
Desde el punto de vista económico el transporte es un "bien" y como tal se rige por las leyes del mercado. Existe una demanda por este bien, la cual refleja la disposición a pagar por viajes y existe una oferta que representa el costo en que se incurre por realizar tales viajes.

Esta situación se representa en el gráfico de oferta y demanda que muestra la figura 1. En la abscisa se representa el número de viajes,  $Q$ , que se realizan por unidad de tiempo, entre un par origen-destino y en la ordenada un valor económico  $P$ , medido en pesos. Ambas curvas expresadas en términos privados, es decir, a precios de mercado.

El área  $OABQ_0$  bajo la curva de demanda  $D$ , representa la disposición a pagar, y por lo tanto el beneficio que perciben los usuarios del camino, por realizar  $Q_0$  viajes entre el par origen-destino.

El costo en que incurren los usuarios se denomina costo generalizado de viaje,  $CGV$ , el cual principalmente depende de la valoración del tiempo empleado en el viaje y del

Figura 1  
OFERTA Y DEMANDA DE TRANSPORTE



costo de operación de los vehículos en que se realizan dichos viajes (combustibles, neumáticos, etc).

El costo que percibe el usuario que se incorpora a una ruta es el  $CGV$ , por lo que también se le conoce como costo marginal privado,  $CMgP$ . Dado que el  $CGV$  es el costo que percibe cada uno de los usuarios de la vía, también será igual al costo medio social,  $CMsS$ .

Antes de continuar es conveniente señalar la diferencia entre "costo privado" y "costo social". El primero representa el costo para un individuo en forma particular, en cambio el segundo representa el costo que tiene para la sociedad como un todo.

Entonces, el beneficio neto para los usuarios o excedente del consumidor corresponde a la diferencia entre la disposición a pagar por viajes, área  $OABQ_0$ , y el costo que efectivamente pagan, área  $OEBQ_0$ , resultando el área  $ABE$ .

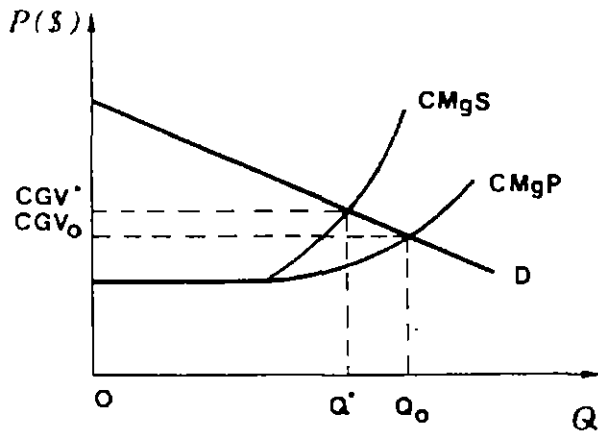
Es conveniente mencionar, que a medida que se realizan más viajes por unidad de tiempo, en una ruta, es posible que aumente el  $CGV$  debido a la congestión vehicular, situación que en la figura 1 se refleja a partir de un nivel de tránsito  $Q_c$ .

Cuando una ruta presenta congestión vehicular, la incorporación de un nuevo vehículo afectará a todos los usuarios de la ruta, al aumentar la congestión, es decir, el costo marginal social ( $CMsS$ ) será mayor que el costo marginal privado ( $CMgP$ ) del vehículo que se incorpora.

En la figura 2 se muestra, además de la curva de demanda, las curvas de CMgP y CMgS. Nótese que el equilibrio se produce para una cantidad de tránsito  $Q_0$ , es decir, donde se iguala el CMgP con la demanda D, esto debido a que el usuario toma la decisión en función del costo que percibe. El tránsito  $Q_0$  no sería óptimo desde el punto de vista social, el cual se lograría teóricamente para un tránsito  $Q^*$ , si existiera un peaje óptimo que hiciera percibir a los usuarios un CGV igual al CMgS. Es decir:

$$CGV^* = CMgS = CMgP + PEAJE^*$$

Figura 2  
OPTIMOSOCIAL EN CONGESTION VEHICULAR



### Beneficios de un proyecto caminero

La materialización de un proyecto caminero puede producir reasignación de flujos vehiculares, pues algunos usuarios preferirán la ruta que el proyecto mejora. En este sentido se distinguen los siguientes tránsitos:

#### Tránsito normal

Corresponde al tránsito que no cambia su ruta por la ejecución del proyecto.

#### Tránsito desviado

Corresponde al tránsito que cambia su ruta por efecto del proyecto, pero mantiene su origen y destino.

#### Tránsito Transferido

Corresponde al tránsito que por efecto del proyecto cambia su origen-destino o ambos. Por ejemplo, un productor que al disponer de un camino en mejores condiciones decide comprar insumos en otra localidad.

#### Tránsito Generado

Corresponde al tránsito vehicular que se incorpora a la red vial por causa del proyecto, el cual antes no circulaba por ningún tramo de ella. Por ejemplo, la construcción de un camino de penetración genera tránsito al permitir la explotación de áreas que antes eran inaccesibles. Otro ejemplo, es el caso de los habitantes de predios agrícolas que al disponer de un camino en mejores condiciones deciden realizar más viajes a las zonas urbanas.

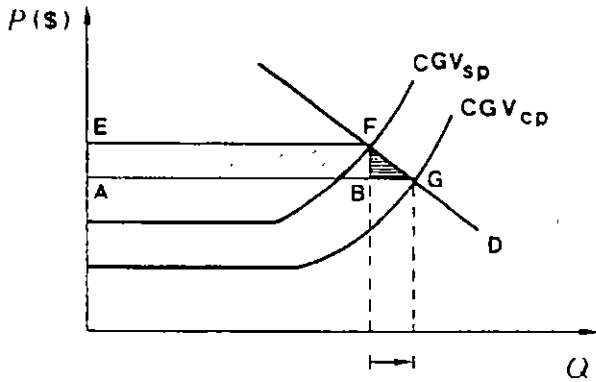
Para determinar los beneficios sociales que conlleva la ejecución de un proyecto caminero es conveniente dividir la red vial en tramos de demanda homogénea, es decir, que no salgan ni entren vehículos en puntos intermedios.

Los efectos que ocurren en los tramos que el proyecto mejora, se denominan efectos directos y los que ocurren en otros tramos se denominan indirectos.

En la figura 3 se presentan las curvas de CGV, tanto para la situación sin proyecto  $CGV_{sp}$ , como para la situación con proyecto  $CGV_{cp}$ . El efecto de la mejora del tramo produce una disminución de la curva CGV y por lo tanto un beneficio directo.

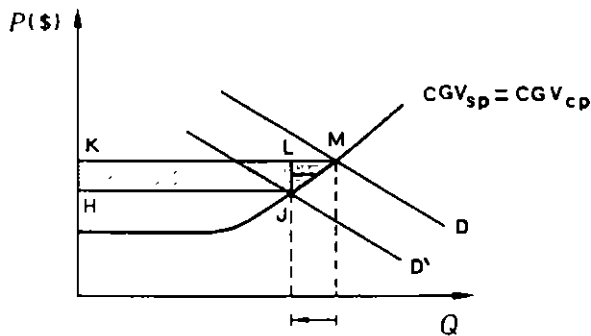


Figura 3  
BENEFICIOS DIRECTOS EN EL CAMINO OBJETO DEL PROYECTO



En la figura 4 se muestra la curva  $CGV$  para un tramo de la red vial, asociado a un camino alternativo al mejorado; se ha supuesto que esta curva no cambia por efecto del proyecto, ya que el camino mantiene su estándar. El proyecto produce un desplazamiento de su curva de demanda, desde  $D$  a  $D'$ , al desviarse o transferirse parte de su tránsito a la ruta que el proyecto mejora.

Figura 4  
BENEFICIOS INDIRECTOS EN UN CAMINO ALTERNATIVO

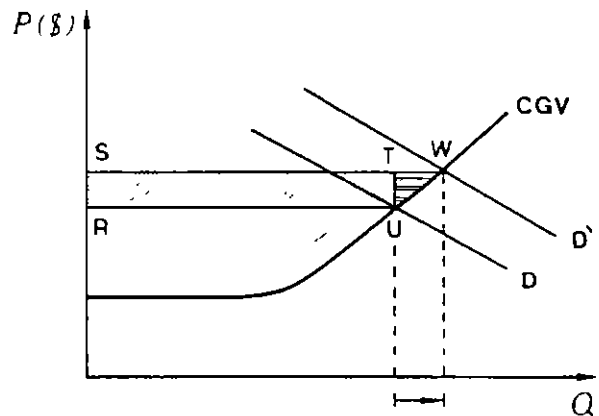


En el caso que en este tramo exista una distorsión (  $CMgP$  distinto de  $CMgS$  ), tal como la congestión, la disminución del tránsito

provocará un beneficio indirecto del proyecto.

Por otro lado, los tramos de un camino complementario al que el proyecto mejora, verán incrementado su tránsito, tal como muestra la figura 5. En este caso, la existencia de una distorsión, tal como la congestión, provocará un beneficio indirecto negativo del proyecto (equivale a un costo pero se considera parte de los beneficios, porque el beneficio del proyecto es la suma de estos parciales).

Figura 5  
BENEFICIO INDIRECTO NEGATIVO EN UN CAMINO COMPLEMENTARIO



De manera que, el beneficio social del proyecto corresponde a la suma de los beneficios directos e indirectos que se mostraron en las figuras anteriores, es decir, las siguientes áreas sombreadas:

- Área  $AEFB$ , figura 3, la cual corresponde a la liberación de recursos o aumento en el excedente del consumidor, asociado al tránsito normal del camino que mejora el proyecto.
- Área  $FBG$ , figura 3, la cual corresponde al aumento del excedente del consumidor asociado al tránsito desviado, transferido y generado, que circula por el tramo que mejora el proyecto.

- Area HKLJ, figura 4, la cual corresponde al aumento en el excedente del consumidor asociado al tránsito normal del camino sustituto o alternativo, debido a una reducción de la congestión.
- Area LMJ, figura 4, la cual corresponde al aumento en el excedente del consumidor, asociado al tránsito que se desvía y al que se transfiere a la ruta que el proyecto mejora; este incremento de excedente se determina por la reducción de la congestión hasta el punto en que el usuario decide cambiarse de ruta. En efecto, la disposición a pagar por desviarse, representada por un punto de la curva de demanda de la ruta mejorada, es igual al CGV del vehículo en el momento en que decide el cambio de ruta, el cual es menor que el CGV que tenía antes que se desviara algún vehículo. Y finalmente.
- Areas RSTU y TWU, figura 5, las cuales deben considerarse con signo negativo pues corresponden a costos.

### Costos de un proyecto caminero

Para poder percibir los beneficios del proyecto es necesario incurrir en costos. Evidentemente, los costos más importantes están relacionados con el tramo de camino que se mejora, tal como los costos de construcción de las obras que contempla el proyecto, su conservación y las reposiciones futuras necesarias.

No obstante, por causa del proyecto se pueden producir efectos en tramos donde no se realizan trabajos de construcción, por ejemplo, los caminos alternativos demandarán menos inversiones en conservación y se postergará la reposición futura de sus carpetas, en la medida que se haya desviado una buena parte de su tránsito pesado. En el caso de los caminos complementarios ocurrirá lo contrario, demandarán mayores inversiones.

En la práctica, lo que comúnmente se hace es determinar el total de recursos que se necesitarían cada año para mantener el estándar técnico de los tramos que pertenecen al área del proyecto (incluido caminos alternativos y complementarios). Luego, el costo del proyecto vendrá dado por la cantidad adicional de recursos que se requieren en la situación con proyecto respecto de la situación sin proyecto.

Además de lo anterior, dentro de los costos del proyecto se deben incluir las interferencias que provocan al tránsito las obras de construcción (desvíos, detenciones, molestias, etc).

### Análisis de la red vial

La determinación de la rentabilidad económica de un proyecto caminero puede ser un trabajo engorroso, cuando se genera tránsito. No obstante, si este no existe, el análisis se simplifica, siendo necesario realizar lo siguiente:

- Determinar los tramos de la red que se verán afectados por el proyecto.
- Determinar los flujos vehiculares que circularán por dichos tramos, en la situación sin proyecto y para todo el período de análisis.
- Determinar el CGV para cada vehículo, en la situación sin proyecto y para todo el período de análisis.
- Determinar las inversiones que se requerirán en la situación sin proyecto y para todo el período de análisis, incluyendo tanto las inversiones en infraestructura como las conservaciones.
- Reasignar los flujos vehiculares determinados en el segundo punto, considerando las nuevas características de la red, en la situación con proyecto. Cabe señalar que el número total de viajes será el mismo en la situación con y sin proyecto, por cuanto se ha supuesto que no existe tránsito generado.

- Determinar los puntos CGV y las inversiones para la situación con proyecto.
- Determinar el costo de viaje total para la situación sin proyecto y con proyecto, lo cual se logra sumando los CGV de todos los vehículos, para cada situación.
- Determinar el beneficio para cada año del período de análisis, el cual se calcula como la diferencia entre el costo de viaje total sin proyecto y con proyecto.
- Determinar el total de inversiones (incluyendo todos los tramos), para cada año del período de análisis y para las situaciones con y sin proyecto.
- Determinar los costos para cada año del período de análisis como la diferencia entre inversiones con y sin proyecto.
- Conocidos los anteriores costos y beneficios, se puede determinar fácilmente la rentabilidad.

Por otro lado, cuando existe tránsito generado será necesario analizar los mercados que lo generan, pues los beneficios serán percibidos principalmente en ellos. Por ejemplo, un camino de penetración requerirá analizar mercados como el forestal, ganadero, turístico, etc, según sea el caso, y los beneficios serán en gran medida el excedente de los productores y consumidores de los bienes que se generen.

## Horizonte de evaluación

Para evaluar económicamente un proyecto se debe definir un período de análisis u horizonte de evaluación, el cual dependerá de las características particulares del proyecto. No obstante, en lo que sigue se dan algunas recomendaciones que facilitan su determinación.

Si existen varias alternativas de solución, deberá fijarse un período de análisis único, para los fines de comparación. Escogida la alternativa más conveniente podrá definirse un período de análisis menor, con el fin de determinar la rentabilidad asociada a la inversión inicial.

Como criterio de selección del horizonte de evaluación, se recomienda utilizar un período de análisis igual a la vida útil de la obra más importante o representativa del proyecto. Así, por ejemplo, si el proyecto consiste en evaluar la pavimentación de un camino de ripio se utilizará la vida útil del pavimento, aún cuando las obras de drenaje, movimiento de tierra, etc, duren más tiempo.

En el caso que la obra más importante tenga una vida útil muy extensa, como es el caso de puentes o túneles, será conveniente reducir el período de análisis, por ejemplo a 20 años u otro.

Para aquellas obras que terminado el período de análisis queden con un excedente de vida útil, debe incorporarse su valor económico residual, el cual será siempre menor que la inversión original, y se considera como un beneficio percibido durante el último año de análisis.

## Indicadores económicos

Hasta el momento los costos y beneficios sociales del proyecto se han calculado utilizando precios de mercado; tales como precios de combustibles, neumáticos, etc, para determinar los costos generalizados de viaje (CGV) y precios de insumos para la construcción de las obras de infraestructura que requiere el proyecto.

Esto es adecuado en economías en que no existen distorsiones, pues en ellas los precios de mercado reflejan adecuadamente el precio social de los bienes y servicios que se transan. No obstante, en economías con distorsiones es necesario corregir los precios de mercado para obtener precios sociales. La forma de realizar estas correcciones, para la economía chilena, se muestra en el Anexo 1 de este documento.

Una vez calculados los costos y beneficios sociales de un proyecto, valorados a precios sociales, es posible calcular los indicadores económicos más relevantes:

### Valor actual neto (VAN)

Para efectos de evaluación, los flujos de costos y beneficios del proyecto deben ser llevados a un mismo momento del tiempo, para lo cual se utiliza una tasa social de descuento.

El VAN Social corresponde a la diferencia entre los beneficios actualizados ( $B_{ia}$ ) y los costos actualizados ( $C_{ia}$ ) e indica cuánto más rico o más pobre se hace el país al realizar el proyecto. Entonces, un proyecto público será económicamente rentable si el VAN, descontado a la tasa social, resulta positivo.

$$VAN = \sum_{i=0}^n (B_{ia} - C_{ia})$$

$$B_{ia} = \frac{B_i}{(1+r)^n}$$

$$C_{ia} = \frac{C_i}{(1+r)^n}$$

en que:

VAN	= Valor Actual Neto
$B_{ia}$	= Beneficio del proyecto percibido el año $i$ , actualizado al año cero.
$C_{ia}$	= Costo del proyecto incurrido el año $i$ , actualizado al año cero.
$B_i$	= Beneficio del proyecto percibido el año $i$
$C_i$	= Costo del proyecto incurrido el año $i$
$n$	= Período de análisis, en años.
$r$	= Tasa social de descuento.

### Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR es aquella tasa de descuento que anula el VAN y se obtiene de resolver la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=0}^n \frac{(B_i - C_i)}{(1+TIR)^i} = 0$$

En consecuencia, un proyecto público rentable debe necesariamente arrojar una TIR mayor que la tasa social de descuento.

Cabe señalar que como criterio de decisión, la TIR es útil para proyectos que se comportan normalmente, es decir, para aquellos que en sus primeros años tienen costos y después generan beneficios.

Si el signo de los flujos netos del proyecto cambia más de una vez existe la posibilidad de obtener más de una TIR. Al tener soluciones múltiples, todas positivas, la elección de cualquiera de ellas puede inducir a adoptar una decisión errónea. No obstante, considerando que comúnmente los proyectos de Transporte Caminero no presentan los anteriores problemas, es adecuado referirse a la TIR como uno de los indicadores adecuados para la toma de decisiones.

### Costo de postergar el proyecto (CPP)

Es común encontrar proyectos de Transporte Caminero que aún siendo muy rentables son postergados, ya que los recursos disponibles son asignados a otros de mayor urgencia.

Si se posterga un proyecto rentable, comúnmente se incurre en un costo, el cual se puede medir por la disminución que experimenta el VAN, tal como se indica a continuación.

$$DVAN = VAN - VAN_1$$

en que:

DVAN = Costo de postergar en un año el proyecto.

VAN = VAN, si el proyecto se inicia el año cero.

$VAN_1$  = VAN, si el proyecto se inicia el año 1.

Por otro lado, el costo de postergar el proyecto se puede expresar como fracción de la inversión inicial que demanda el proyecto ( $I_{a0}$ ) y denotar CPP.

$$CPP = \frac{DVAN}{I_{a0}}$$

Para los proyectos camineros que sus beneficios corresponden exclusivamente a ahorros en costos de operación y tiempo de viaje, es decir, para aquellos que no generan tránsito, es posible calcular en forma sencilla el costo de postergar el proyecto (CPP).

En efecto, si se posterga la ejecución de un proyecto caminero se incurre en un costo igual al beneficio del primer año de operación del proyecto ( $B_1$ ), el cual se deja de percibir y se percibe el beneficio de postergar en un año la inversión inicial ( $I_{a0}$ ). Con-

siderando que la rentabilidad alternativa del capital es la tasa social de descuento, este beneficio será  $(I_{ao} r)$ , el cual previa actualización puede ser comparado con el costo  $B_z$  antes mencionado, también actualizado. De manera que la expresión es la siguiente:

$$CPP = \frac{1}{I_{ao}} \left[ \frac{B_z}{(1+r)^z} - \frac{I_{ao} r}{(1+r)} \right]$$

en que:

- CPP = Costo de postergar el proyecto, expresado como fracción de la inversión inicial.  
 $B_z$  = Beneficio del primer año de operación del proyecto.  
 $z$  = Número de años en que se realiza la inversión inicial.

Dado que el primer año de inversión corresponde al año cero del período de análisis, el año "z" es el año en que se pone en operación el proyecto y por lo tanto el año en que se obtiene el primer beneficio.

- $I_{ao}$  = Inversión inicial.  
 $r$  = Tasa social de descuento.

La inversión inicial ( $I_{ao}$ ) corresponde a la suma de las inversiones realizadas en la situación con proyecto, con anterioridad a la puesta en operación del camino y previamente actualizadas, es decir:

$$I_{ao} = \sum_{i=0}^{z-1} \frac{I_{cpi}}{(1+r)^i}$$

en que:

- $I_{ao}$  = Inversión inicial.  
 $I_{cpi}$  = Inversión realizada el año  $i$ , en la situación con proyecto.  
 $z$  = Año en que se percibe el primer beneficio del proyecto.  
 $r$  = Tasa social de descuento.

La expresión del CPP se basa en algunos supuestos, como que la inversión inicial no variará si se posterga en un año el proyecto, que los beneficios de un año calendario cualquiera no son significativamente dependientes del momento de inversión, que el período de análisis se puede escoger, para este cálculo, lo suficientemente extenso como para independizarse del beneficio del último año y que los costos adicionales de viaje (molestias, detenciones, desvíos, etc.) pro-

ducto de la ejecución de la inversión inicial son despreciables.

En el caso que este último supuesto no se cumpla, el CPP debe ser corregido de la siguiente manera:

$$CPP^* = CPP - \frac{(CE_{ao} r - DCE_{ao})}{(1+r) I_{ao}}$$

en que:

- CPP\* = CPP corregido.  
 CPP = Costo de postergar el proyecto.  
 $CE_{ao}$  = Costos adicionales de viaje asociados a la ejecución de la inversión inicial.  
 $DCE_{ao}$  = Incremento actualizado del costo  $CE_{ao}$ , producto de la postergación del proyecto.

El cálculo de  $CE_{ao}$  es análogo al de  $I_{ao}$ , salvo que incluye otros costos.

Finalmente, se señala que existe un indicador similar al CPP, llamado "Tasa de Rentabilidad Inmediata", TRI. Estos dos indicadores de rentabilidad de corto plazo se relacionan de la siguiente manera:

$$TRI = r + (1+r) CPP$$

en que:

- TRI = Tasa de rentabilidad inmediata.  
 $r$  = Tasa social de descuento.  
 CPP = Costo de postergar el proyecto.

### Momento óptimo para ejecutar la Inversión (Año óptimo)

El momento óptimo de ejecutar la inversión o de iniciar un proyecto es aquel que maximiza el VAN.

Si el costo de postergar el proyecto (CPP) es negativo significa que el VAN aumenta con dicha postergación, y por lo tanto no se está en el año óptimo.

Para los proyectos camineros que sus beneficios corresponden exclusivamente a ahorros en costos de operación y tiempo de viaje, es razonable suponer que los beneficios ( $B_i$ ) son crecientes en el tiempo y por lo tanto que el costo de postergar el proyecto, CPP, será también creciente en el tiempo.

Por lo anterior, el año óptimo para ejecutar la inversión será aquel en que el CPP sea mayor o igual a cero.

En el caso de no existir restricción presupuestaria es posible y conveniente iniciar las inversiones en su momento óptimo. No obstante, en la práctica es común que el universo de proyectos públicos rentables sea mayor que el marco presupuestario, y por lo tanto sea necesario y conveniente postergar algunos. En este caso, el indicador relevante es el CPP.

## Evaluación económica

Al evaluar un proyecto de Transporte Caminero se debe estudiar todas las alternativas de solución posibles, respetando las políticas vigentes del sector, las cuales incluyen recomendaciones sobre diseños técnicos y materiales.

A modo de ejemplo, se puede mencionar el caso de una cuesta que muestra problemas de operación y requiere algunas inversiones, para lo cual se proponen las siguientes alternativas de solución:

- Reponer el pavimento de la cuesta y construir un túnel en el futuro.
- Construir ahora el túnel y dejar fuera de servicio la cuesta.

Cada alternativa de solución puede considerar varias inversiones en el período de análisis, tal como la primera alternativa que considera una reposición en el corto plazo y un túnel en el futuro.

La realización de cada una de estas inversiones se debe considerar en su momento óptimo, dado que el supuesto de trabajo es que existen y existirán los recursos para hacer las obras.

Finalmente, la alternativa de solución más rentable será aquella que muestre el mayor VAN. Esto no significa que será ella la que en definitiva se materialice, pues el evaluador deberá considerar otros factores en su proposición, tales como:

- Existe un riesgo asociado al VAN, lo que puede hacer atractiva una alternativa de menor rentabilidad pero más segura. Por

esto es importante el realizar análisis de sensibilidad ante variaciones en la inversión inicial, en el crecimiento del tránsito, etc.

- El VAN de un proyecto se maximiza cuando la inversión se inicia en su momento óptimo. No obstante, en presencia de restricción presupuestaria, lo más conveniente puede ser postergar el proyecto.
- El análisis de tamaño óptimo supone que se deben materializar todas aquellas obras que aumentan el VAN del proyecto. No obstante, algunas obras representan un aporte pequeño a la rentabilidad del conjunto y por lo tanto, en condiciones de restricción presupuestaria, podría ser conveniente postergarlas o excluirlas.

Por ejemplo, dentro de un proyecto de pavimentación podrían finalmente postergarse aquellos tramos de menor rentabilidad.

## Preparación del proyecto

Para la preparación del proyecto se debe seguir la siguiente pauta:

### Descripción del proyecto

En primer lugar se debe formular el proyecto que se desea estudiar, incluyendo, por lo menos, los siguientes aspectos:

- Nombre del proyecto.
- Región y Provincia en que se localiza. Es conveniente presentar un mapa o esquema de ubicación, destacando claramente el tramo de la red vial que se quiere abordar.
- Problema o necesidad insatisfecha que se desea solucionar.

## Análisis de antecedentes

Se deberá recopilar y describir aquellos aspectos que han sido abordados en estudios previos.

Es posible encontrar información sobre caminos principalmente en instituciones como:

- Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas.
- Departamento de Inversiones y Biblioteca de MIDEPLAN.
- Secretaría de Transporte, SECTRA.
- Direcciones Regionales de Vialidad.
- Secretarías Regionales de Planificación y Coordinación, SERPLAC

## Diagnóstico

Se debe incluir un diagnóstico de la situación actual, para lo cual es necesario abordar los siguientes aspectos:

### Oferta actual de Infraestructura

En esta sección se debe incluir aquellos factores, distintos del tránsito mismo, que permiten explicar el nivel de servicio de la infraestructura vial existente.

Para cada sector, se deberá incluir por ejemplo lo siguiente:

- Longitud en kilómetros.
- Características geométricas del trazado en planta y longitudinal.
- Características de la sección transversal del camino (número de pistas, ancho de la calzada, etc.).
- Características de la carpeta de rodado.
- Descripción del estado de puentes, bermas, sistema de drenaje, etc.

## Demanda vehicular actual

La demanda de un camino está determinada por el flujo de vehículos que circula por él. El flujo vehicular de un camino se representa por el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), es decir, la cantidad de vehículos que circulan cada día, en ambas direcciones, en promedio durante el año.

Información respecto de flujos vehiculares históricos, de caminos específicos, se puede obtener del documento "Volúmenes de tránsito en los caminos de Chile" que publica cada dos años el Ministerio de Obras Públicas.

Los estudios de prefactibilidad requieren además conteos vehiculares en terreno, que permitan determinar la relación que existe entre el tránsito medido para cada tramo de camino y el medido en el punto censal más representativo. Para ello es necesario que esta última medición se realice en forma simultánea. La información de tránsito debe incluir los siguientes antecedentes:

- Mapa que indique el área que abarca el proyecto, ubicación de los puntos censales escogidos y ubicación de los conteos vehiculares de terreno.
- Cuadro que muestre, para los puntos censales, la máxima información de tránsito disponible.
- Cuadro que muestre el tránsito obtenido en terreno.
- Relación entre el tránsito de cada tramo y el de su punto censal asociado.

Para aquellos proyectos que desvían tránsito, será necesario entregar información de origen destino de viajes, ya sea recogida en terreno o de la publicación de la Dirección de Vialidad "Encuestas Origen - Destino en Caminos de Chile"

## Análisis de oferta y demanda

Una vez realizado el estudio de oferta y demanda actual del camino se debe analizar

la información y con ella explicar claramente el nivel de servicio que se observa en terreno, de tal manera de responder las preguntas cómo, cuándo y por qué el nivel de servicio del camino es inadecuado y requiere la ejecución de un proyecto.

### **Optimización de la situación actual**

En esta sección, se debe describir claramente la situación actual del camino y la situación sin proyecto que se adoptará para la evaluación.

La situación sin proyecto corresponde a la situación actual optimizada, la cual se determina ejecutando obras de inversión menores o medidas de gestión, factibles y rentables, que mejoren las condiciones de operación del camino. Muchas veces no es necesario evaluar económicamente estas inversiones, pues aparecen como evidentemente rentables.

Por ejemplo, si se desea evaluar la repavimentación de un camino que está lleno de hoyos, la situación sin proyecto sería la misma carpeta, pero manteniendo los hoyos tapados o bacheados.

En el caso de un camino que tiene problemas de anegamiento en el invierno, por causa de un sistema de drenaje insuficiente, la situación sin proyecto deberá considerar la solución de ese problema, pues se haga o no el proyecto, no es posible mantener el camino en esas condiciones.

Cabe señalar, que si ninguna de las alternativas de solución resulta rentable, se debe ejecutar la optimización antes mencionada.

### **Alternativas de proyecto**

Se debe estudiar y describir todas las alternativas que den solución al problema vial en análisis, que sean técnicamente factibles de realizar y que respeten las políticas del sector, vigentes a la fecha. Las principales

exigencias técnicas se pueden encontrar en el "Manual de Carreteras", de la Dirección de Vialidad.

Dentro de las alternativas de solución habrá que considerar, en cuanto se justifique:

- Trazados con distintas velocidades de diseño.
- Distintas carpetas de rodado, tales como, ripio, doble tratamiento asfáltico, concreto asfáltico y hormigón.
- Distintos tamaños de obra, de manera de determinar el tamaño óptimo, si corresponde.
- Distintos momentos de inicio de obras, de manera de determinar el momento óptimo de inversión, para cada una.

### **Preselección de alternativas**

En estudios de prefactibilidad, en base a las conclusiones del estudio a nivel de perfil se podrá descartar algunas alternativas de solución.

En oportunidades, además de las razones económicas pueden existir razones técnicas, institucionales o de otra índole por las cuales se puede descartar a priori algunas alternativas de solución.

### **Análisis y estimación de la demanda vehicular futura**

#### **Demanda vehicular futura**

El número de viajes que se realizarán a futuro en la red vial, es difícil de predecir. Una posibilidad es suponer que la tendencia histórica de crecimiento del tránsito se va a mantener a futuro, otra posibilidad es analizar cada sector productivo, estimar el desarrollo que tendrá, y a partir de eso, derivar el tránsito asociado.

El proyectar el tránsito histórico puede ser un buen método para algunos proyectos



específicos, pues es relativamente simple, y muchas veces entrega información de calidad similar a otros métodos. No obstante, es conveniente tener presente lo siguiente:

- Aplicar sólo a aquellos caminos en que convergen vehículos provenientes de muchas actividades productivas, y por lo tanto sería extremadamente difícil hacer un análisis específico para cada una de ellas.

Un caso habitual lo constituye el camino longitudinal. Ruta 5.

A modo de ejemplo, en un estudio de caminos forestales se proyectó el tránsito histórico mediante una función exponencial. Cuando ya se había concluido el estudio, quedó en evidencia que el tránsito futuro estimado era muy superior a lo que la actividad forestal de la zona podía generar. En ese caso, lo conveniente era hacer un análisis específico al sector forestal que servía el camino.

- En aquellos casos en que la función exponencial no sea representativa, se recomienda estimar en forma independiente tres niveles de tránsito, el asociado al año cero del período de análisis, el asociado al último año del período de análisis, y alguno intermedio. Luego, para los otros años se pueden hacer interpolaciones lineales.

- Se debe verificar que la información histórica sea homogénea.

A modo de ejemplo, se señala que hay puntos censales que se han visto afectados, temporal o permanentemente, por desvíos de tránsito, producto de ejecución de obras o de deficiencias en la infraestructura.

Para aquellos proyectos en que se hace evidente la necesidad de analizar los "sistemas de actividades", es decir, cada sector en forma independiente, se dan las siguientes recomendaciones:

- Utilizar información de censos origen/destino.

- Realizar un análisis de este tipo sólo para aquellas actividades que sean relevantes, por su incidencia en el flujo vehicular actual o futuro.

- Estimar el desarrollo de cada sector mediante criterios simples y claros, de manera de no complicar innecesariamente el análisis.

Por ejemplo, el crecimiento del tránsito que accede a puertos está ligado a la capacidad de operación del puerto y a las posibilidades de ampliación que tiene.

### Variación horaria del tránsito

Para los proyectos camineros en que se requiere evaluar el problema de la congestión vehicular será también necesario disponer de la variación horaria del tránsito.

Se puede encontrar información horaria, para los 365 días del año, pero sólo para una dirección, en las plazas de peaje del país. También, se dispone de la información horaria que recolecta la Dirección de Vialidad en el Plan Nacional de Censos, para tres días del año, pero que no está desagregada según dirección.

Lo que comúnmente se hace es utilizar la información de algún punto censal y verificar su representatividad con información de peajes, además de la información recolectada en terreno.

Una vez que se dispone de la información horaria, es conveniente generar una curva de carga del camino, según el siguiente criterio: se define "hora 1" como la hora del año en que circuló el mayor tránsito por el camino (ambas direcciones), "hora 2" a la segunda hora de mayor tránsito, etc.

Se recomienda presentar un cuadro, con las horas de mayor tránsito del año. Este cuadro debe mostrar en su encabezamiento el TMDA del año y la fuente de información. Se sugieren las siguientes columnas:

- Hora (1,2,3,etc.): Se deberá presentar como mínimo el triple de las horas que ac-

tualmente muestran síntomas de congestión vehicular.

- Fecha: Fecha del día en que se produjo ese flujo vehicular. Por ejemplo, 03/04/90.
- Día (lunes a domingo): Día de la semana en que se produjo ese flujo vehicular, indicando además si tiene relación con algún día festivo.
- Hora del día (1 a 24)
- Cantidad de vehículos que circularon en la hora (incluye el tránsito en ambos sentidos)
- Cantidad de vehículos en el sentido de referencia, expresado en vehículos / hora.
- Porcentaje de vehículos livianos, pesados y buses, en el sentido de referencia.
- Cantidad de vehículos en el sentido contrario al de referencia, expresado en vehículos / hora.
- Porcentaje de vehículos livianos, pesados y buses, en el sentido contrario al de referencia.

Una vez generada la curva de carga es conveniente hacer un análisis exhaustivo de las primeras horas y describir cualitativamente el estado en que opera el camino en, al menos, las horas 1,5,10,20 y 50.

Esto permitirá tener una idea de los problemas de saturación de la vía y del número de días en que ocurre.

En base a este análisis se deberán proponer medidas de gestión y/o nueva infraestructura, que permita dar una solución adecuada a esas horas. Dado que la hora "1" seguramente no es significativa en el total de costos de operación y tiempo de viaje del año, las proposiciones deben centrarse en lo técnico.

El procedimiento anterior se deberá repetir para los tres años del período de análisis en que se estimó el tránsito futuro, si así se proyectó.

## Reasignación de flujos

En aquellos proyectos que no generan tránsito, el número de viajes realizados debe ser igual en la situación con y sin proyecto, para cualquier año del período de análisis. No obstante el TMDA de cada tramo de camino diferirá en cuanto cambie la distribución de los viajes por efecto del proyecto, es decir, por la existencia de tránsito desviado y transferido.

El nuevo equilibrio se debe estimar para cada alternativa de solución en forma independiente; y depende de la calidad del servicio de viaje que ofrece cada una de las rutas camineras alternativas y de la valoración "privada" que dan los usuarios a dichos servicios. Lo más común, es suponer que el nuevo equilibrio se logra igualando los costos generalizados de viaje entre las distintas rutas alternativas.

## Evaluación del proyecto

La evaluación se debe realizar y presentar en forma independiente para cada alternativa de solución.

## Descripción de beneficios y costos

Se deberá describir en términos generales el tipo de beneficios y costos asociados al proyecto.

## Estimación de beneficios

Los beneficios del proyecto se obtienen principalmente de comparar los costos generalizados de viaje, asociados a las situaciones sin y con proyecto.

Se deberá presentar toda la información necesaria para la determinación de los costos de operación y tiempo de viaje. Esto in-

cluye características geométricas, rugosidades, tránsito, precios sociales, etc.

A continuación, se mencionan los componentes del costo generalizado de viaje que en definitiva permiten calcular los beneficios.

### Costo de operación vehicular (COP)

El costo de operación de los vehículos depende fundamentalmente de:

- Geometría del camino
  - Tipo y estado de la carpeta de rodado
  - Tipo de vehículos que circulan
  - Volumen, composición y distribución vehicular
  - Precio social de los insumos
- Para cada tipo de vehículo se debe calcular los siguientes ítemes de costo:
- Consumo de Combustible (CCO)
  - Consumo de Lubricantes (CL)
  - Consumo de Neumáticos (CN)
  - Consumo de Repuestos (CRE)
  - Consumo de Horas de Mantenimiento (CHM)
  - Depreciación del Vehículo (DEP)

### Costo del tiempo de viaje (CTV)

El costo del tiempo de viaje de los vehículos que transitan por el camino depende fundamentalmente de:

- Velocidad de operación vehicular
- Valor social del tiempo de los usuarios de los vehículos.
- Valor social del tiempo de retención de carga o del costo alternativo de utilización de vehículos comerciales.

Para determinar costos de operación y tiempo de viaje se deberán utilizar los siguientes modelos:

### Modelo HDM III-Chile

Se utilizará para aquellos caminos que presentan flujo libre, es decir, para aquellos en que la interacción entre vehículos no es una variable económicamente importante. En general, este modelo se aplica para proyectos que no tienen como finalidad aumentar la capacidad de la vía.

La versión de este modelo que debe ser utilizada es la que se indica en Anexo 2.

### Modelo TRARR-Chile

Este modelo permite analizar caminos que presentan congestión vehicular. En general se utilizará sólo para proyectos que tienen como finalidad aumentar la capacidad de la vía.

La versión de este modelo que debe ser utilizada es la que se indica en Anexo 2.

Este modelo permite calcular sólo consumo de combustibles y tiempo de viaje, de manera que el resto de los ítemes deben calcularse con el modelo HDM III-Chile.

### Estimación de costos

#### Costos de Inversión en Infraestructura y conservación del camino (I)

Los costos de inversión en infraestructura (costo de construcción de obras) deben desprenderse de un análisis de profundidad variable según el nivel de estudio del proyecto:

- Estudio a nivel de perfil:* A nivel de Perfil, se puede utilizar estimaciones de inversión, basadas en el costo promedio por kilómetro de obras similares, indicando la fuente de información de dichos valores.
- Estudio a nivel de prefactibilidad o factibilidad:* En este caso, las estimaciones se deben basar en un anteproyecto de inge-

niería. Se debe indicar las principales obras que incluirá el proyecto y adjuntar un presupuesto detallado de la obra, expresado en términos privados y sociales, indicando además el origen de los precios unitarios utilizados.

Por otra parte, para determinar los costos de inversión en conservación del camino se requiere lo siguiente, según sea el nivel del estudio en que se encuentra el proyecto:

- Estudio a nivel de perfil: En este caso se puede utilizar estimaciones de los requerimientos de conservación, basadas en la experiencia sectorial.

En Anexo 3 se entregan costos aproximados de conservación para ser utilizados en estudios a nivel de perfil.

- Estudio a nivel de prefactibilidad o factibilidad: En este caso, debe tenerse presente los modelos de deterioro para estimar el nivel de conservación que requiere la carpeta, a fin de mantener el estándar del camino dentro de rangos razonables.

El valor unitario de las conservaciones debe expresarse en términos privados y sociales.

### **Costos adicionales de viaje incurridos durante la ejecución de las obras de Inversión (CE)**

La metodología supone que durante la ejecución de las obras de inversión, el camino sigue en su operación normal, y por lo tanto, no se producen costos adicionales de operación y tiempo de viaje. Esto puede no reflejar la realidad, pues lo común es que el usuario tendrá que esperar en cola, cuando se implanta el sistema de banderero, o bien, deberá circular por caminos alternativos.

Cabe señalar que en la mayoría de los casos, los costos adicionales incurridos por los usuarios durante la ejecución de las obras de inversión serán poco significativos y podrán ser despreciados.

En caso de considerarse, ellos se deben describir claramente, indicando el tipo de interferencias que provocará la construcción de las obras y el costo adicional de viaje en que incurrirán los usuarios respecto de una situación sin interferencias.

### **Evaluación e indicadores económicos**

La actualización de los costos y beneficios del proyecto se deberá realizar mediante la tasa social de descuento que MIDEPLAN publica anualmente en "Procedimientos y Formularios para el Sistema de Estadísticas Básicas de Inversión".

Se deberá calcular los indicadores de rentabilidad económica VAN y TIR.

Además, deberá determinarse el año óptimo de inversión y el costo que implica postergar el proyecto, según se explicó en detalle en el punto "Indicadores económicos".

Los resultados así obtenidos, deberán sensibilizarse frente a cambios en variables que se estima relevantes y presentan mayor riesgo de ocurrencia.

En estudios a nivel de Perfil bastará con sensibilizar la rentabilidad del proyecto ante aumentos de la inversión inicial.

En estudios a nivel de Prefactibilidad también será necesario sensibilizar la rentabilidad ante cambios en la estimación del tránsito futuro, suponiendo un escenario pesimista, medio (más probable) y optimista.

Finalmente, se debe entregar, si corresponde, un listado de todos aquellos costos y beneficios que no pudieron incluirse en la evaluación, ya sea por su difícil cuantificación o porque la metodología no los incluye.

### **Presentación del proyecto**

Se recomienda que la presentación del proyecto incluya las siguientes secciones:

## Resumen y conclusiones

Presenta una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de modo que sea autosuficiente para entender todo el proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

## Preparación del proyecto

Debe contener un resumen de los puntos que se describieron en el Capítulo de Preparación del proyecto incluido en esta metodología.

## Evaluación del proyecto

Debe contener un resumen de los puntos que se describieron en el capítulo correspondiente a la evaluación del proyecto de esta metodología.

## Conclusiones y recomendaciones

Debe incluir las principales conclusiones del estudio y en forma específica las recomendaciones que se sugieren.

## Financiamiento

Debe indicar, si corresponde, las fuentes de financiamiento a que postulará el proyecto y sus principales aspectos relacionados, incluyendo también un cuadro detallado con el calendario de inversiones, expresado en términos privados.

Con respecto a la forma de presentación del estudio, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.
- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.
- Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con un número que se explicará a pie de página.
- La teoría en que se basa la evaluación económica no debe explicarse en detalle en el estudio, pues se encuentra en esta metodología.

# Metodología para la presentación y evaluación de proyectos de vialidad urbana<sup>1</sup>

## Introducción

La infraestructura vial de una ciudad se puede representar mediante una red de vías o arterias y nudos o intersecciones que proveen una cierta capacidad de transporte al flujo vehicular urbano. En un momento dado del tiempo, las características de diseño y construcción de esta red y sus elementos, conjuntamente con el nivel de utilización a que éstos se ven sometidos, determinan lo que generalmente se llama un "nivel de servicio de transporte" que puede ser representado en términos de los costos que para los distintos usuarios implica el uso del sistema.

Dichos costos, denominados "costos de transporte", pueden ser modificados en el largo plazo a través de cambios en la infraestructura. En nuestro caso, a través de modificaciones en la estructura de la red vial o el rediseño de sus elementos.

La metodología que a continuación se presenta tiene por objetivo uniformar la evaluación de este tipo de proyectos, denominados "proyectos de vialidad urbana". La fuente de información básica usada es el Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana, desarrollado por la U. de Chile en 1988 por encargo de la Comisión de Transporte Urbano<sup>1</sup> (en adelante se referirá como SECTU, 1988).

El proceso de desarrollo de proyectos de vialidad urbana se divide básicamente en cuatro etapas: generación de proyectos, desarrollo y selección de anteproyectos, proyecto definitivo y ejecución y seguimiento. Las dos primeras etapas presentan fases di-

ferentes dependiendo, principalmente del tipo de impactos y efectos que cada proyecto produzca sobre el sistema en su conjunto.

A este respecto cabe distinguir ciertas clases de proyectos, los cuales están diferenciados por la naturaleza de los impactos esperados de un proyecto. En particular si el proyecto modifica la demanda de viajes en el área (generación, distribución y partición modal de los viajes), se tiene dos clases: proyectos estructurales y no estructurales.

*Proyectos estructurales.* Son aquellos que inducen cambios significativos en las matrices origen-destino por modo. Desde el punto de vista del tratamiento de un proyecto conviene diferenciar en esta clase proyectos que pertenecen a un plan evaluado en un nivel estratégico que comprende, típicamente, toda la red de la ciudad pertinente, y proyectos que, por ausencia de estas herramientas, son estudiados individualmente con modelos ad-hoc de carácter estratégico.

*Proyectos no estructurales.* Son aquellos en que se puede suponer que no hay efectos sobre la demanda y sus impactos se producen en un área restringida de la ciudad. Si estos impactos o la inversión asociada al proyecto no superan umbrales preestablecidos, éste se define como menor y recibe un tratamiento especial. En otro caso, se denomina corriente.

En vialidad urbana existen principalmente tres factores importantes en la clasificación de proyectos: el impacto del proyecto sobre la estructura de la demanda en el sistema de transporte urbano, el impacto sobre la estructura de flujos en las redes de dicho sistema y el aspecto dominante de la intervención sobre el sistema. En el primer caso se hablará de proyectos estructurales y no estructurales; en el segundo, de proyectos con y sin reasignación de flujos y en el tercero, de proyectos de infraestructura o de gestión. Dado que los proyectos estructurales siempre producen reasignaciones, esta clasificación da origen a seis tipos diferentes

1. Versión preliminar.

de proyectos: estructurales de infraestructura y de gestión; no estructurales con y sin reasignación, de estructura o de gestión.

En la clasificación de proyectos según impacto en la demanda, la característica fundamental de un proyecto estructural es su impacto en la demanda a nivel de la generación, distribución o la partición modal de los viajes. Esto implica un cambio en las matrices de viajes por modo. Un proyecto no estructural, en cambio, no produce cambios relevantes en este sentido. Luego, al concebir un proyecto de este tipo sólo se debe esperar cambios en la operación del sistema analizado.

En la clasificación de proyectos según impacto en la estructura de flujos, se diferencia entre proyectos que implican un cambio en las rutas utilizadas por los usuarios del sistema (cambios en la asignación de los viajes). Por definición, los proyectos estructurales implican reasignaciones. Los no estructurales pueden ser de ambos tipos.

En la clasificación según aspecto dominante de la intervención, se consideran proyectos de infraestructura y de gestión. Obviamente todo proyecto tiene asociadas, en algún grado, componentes de ambos tipos. Es prácticamente imposible concebir proyectos puros en términos de infraestructura y gestión. Sin embargo, es siempre posible precisar en cuál de estos terrenos se sitúa el objetivo del proyecto.

Aún cuando en rigor se debería tener 6 metodologías distintas, las diferencias existen solamente en algunas de las actividades consideradas en el proceso de desarrollo de proyectos de vialidad urbana. A continuación se indica en cuales, según el tipo de proyecto:

*Proyectos estructurales vs proyectos no estructurales.* La diferencia metodológica principal se presenta en la evaluación. Los proyectos no estructurales se evalúan enteramente en la etapa de desarrollo y selección de alternativas. En el caso de los proyectos estructurales, en cambio, la evaluación se realiza en un nivel estratégico y en la etapa de

desarrollo y selección de anteproyectos solamente se comparan alternativas y se realiza un análisis de consistencia entre los costos y beneficios resultantes y los obtenidos en el estudio anterior.

*Proyectos con reasignación vs proyectos sin reasignación.* Aquí las diferencias principales se refieren a las actividades de modelación y simulación. El hecho que exista o no reasignación de flujos incide normalmente en el tamaño del área de influencia del proyecto y en la necesidad de usar un modelo para predecir la elección de ruta de los usuarios. Esto implica el uso de programas computacionales adicionales y la recolección de datos considerablemente más numerosos.

*Proyectos de infraestructura vs proyectos de gestión.* Al tratar proyectos de infraestructura o de gestión se observan diferencias importantes tanto en la actividad de diseño como en la de evaluación. En los proyectos de infraestructura predomina el diseño físico y en los de gestión, el operacional. Respecto a la evaluación, la diferencia fundamental radica en que los proyectos de gestión requieren tratar la estimación de beneficios en mayor detalle porque sus beneficios, aunque altos en relación a los costos, están más sujetos a incertidumbre.

Como simplificación, en este trabajo, se ha resumido la metodología a seguir para los proyectos no estructurales sin reasignación, de tipo corriente y para el caso de los proyectos estructurales el lector debe referirse al Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (SECTU, 1988).

## Teoría sobre la cual se basa la metodología

Los beneficios y costos sociales provienen de la comparación de la situación sin proyecto con la situación con proyecto. En general los proyectos no estructurales requieren de una metodología simple, la cual consiste en identificar los respectivos costos

y beneficios y calcular los indicadores económicos de corto plazo (TRI y VAN<sub>1</sub>) y/o largo plazo (VAN, TIR y B/C) dependiendo del tipo de proyecto.

Respecto de los costos de inversión se consideran fundamentalmente los costos asociados al suelo urbano, a la construcción de las obras, incluyendo los costos de los sistemas de operación y control de tránsito, así como los del proyecto definitivo de ingeniería y de asesoría y supervisión a la construcción. También para ciertos casos se deberá considerar los costos de congestión durante la construcción.

Los beneficios económicos provienen principalmente del tránsito, producto del ahorro de recursos asociados al desplazamiento de vehículos. Los recursos a considerar son: tiempo de usuarios, combustible y otros recursos de operación de vehículos.

Un supuesto básico en el cálculo de beneficios es que no se consideran los beneficios asociados a cambios en las matrices origen-destino por modo. Es decir, no se considera el caso de tráfico generado (nuevos viajes en la red), transferencias de tránsito (modificación de la distribución de los viajes) y cambios en la elección de modo de los usuarios.

El ahorro de costos de viaje corresponde a la diferencia de costos entre las situaciones sin y con proyecto, lo cual corresponde a la variación en el excedente del consumidor con demanda inelástica entre el par origen-destino respectivo.

## Preparación de proyectos

### Desarrollo y selección de anteproyectos

En el desarrollo de un proyecto de vialidad urbana se contemplan básicamente dos fases:

#### Primera fase

Corresponde al *análisis del proyecto* cuya finalidad es generar buenas alternativas de proyecto a nivel de prediseño, que deben ser desarrolladas y evaluadas en la fase siguiente. Para los proyectos no estructurales la información necesaria proviene de mediciones en terreno y de estimaciones obtenidas a partir de ellas.

Las actividades metodológicas contempladas en esta fase son: definición del área de referencia, aquella en que se estima que se producirán los impactos del proyecto analizado. Luego, es necesario definir la semana tipo. A continuación, se debe recolectar información a través de mediciones de terreno o de otras fuentes. Dado todo lo anterior, se aborda en paralelo la periodización y la modelación de la situación actual con la que se hace posible simular la situación actual, para calibrar el modelo construido a partir de la realidad. Para los distintos períodos en que se ha dividido la semana tipo y para cada corte temporal considerado (años futuros) debe estimarse flujos.

La fase de análisis continúa con la generación de alternativas y elaboración de prediseños. Finalmente, la actividad de selección de alternativas para la fase siguiente implica simulación de las alternativas generadas, a partir de las que es posible obtener estimación de beneficios. Estos, junto a los costos provenientes de los prediseños elaborados, permiten realizar una evaluación preliminar. A continuación se presenta una descripción gruesa de las principales actividades aquí mencionadas.

*Definición del Área de Referencia y Semana Tipo.* Los análisis que deben realizarse en esta fase se dan en un determinado contexto espacio-tiempo. Esto implica definir un área de referencia, en la que se medirán los impactos del proyecto y una semana tipo o representativa del año. Si el proyecto corresponde a un área con fluctuaciones estacionales importantes, el año debe dividirse



en temporadas, cada una de las cuales tendrá una semana tipo.

*Mediciones y Recolección de Antecedentes.* En líneas generales se requiere información para simular la situación actual, para estimar información para los años futuros (cortes temporales) y para la actividad de diseño físico.

*Periodización.* Esta actividad se realiza para obtener, al interior de cada semana tipo, una serie de períodos diferentes entre sí pero internamente homogéneos. Cada uno de estos períodos debe ser analizado separadamente para la estimación de beneficios. Para estimar los beneficios anuales del proyecto es necesario determinar ponderadores por período que transformen los beneficios de cada período a beneficios de la(s) semana(s) tipo.

*Modelación y Calibración de la Situación Actual.* Esta actividad se realiza principalmente para contrastar los resultados de la simulación con la realidad y dar confiabilidad a los resultados de la evaluación. A estos efectos se emplean los programas computacionales, de manera distinta según tipo de proyecto.

*Generación de Alternativas.* En general, existen múltiples formas de materializar un proyecto. La finalidad de esta actividad es definir alternativas que difieren en sus características físicas u operacionales sin que el tipo o el alcance de los impactos que producen sean diferentes. La concepción de estas alternativas se apoya en el diagnóstico proporcionado por la actividad anterior.

*Elaboración de Prediseños.* En esta fase se debe representar, sobre planimetrías del terreno, la planta de los prediseños; con sus eventuales afectaciones a la propiedad, los dispositivos de señalización y control y el trazado y características principales de los servicios que deban modificarse. No es necesario realizar cálculos exactos, sino tan solo se exige una representación y cuantificación aproximada.

*Selección de Alternativas.* De todas las alternativas generadas, se trata de elegir un

conjunto reducido para análisis ulterior. La atracción de cada una es sopesada mediante indicadores de rentabilidad social, derivados de estimaciones preliminares de beneficios y costos, y el estudio de otros impactos.

## Segunda fase

Corresponde al *anteproyecto y evaluación de alternativas*. Esta fase tiene dos objetivos principales: Por un lado, los prediseños elaborados en la fase anterior deben ser afinados y desarrollados a nivel de anteproyecto para obtener un buen diseño físico. Por otro, y no menos importante, se debe producir información relevante y confiable que permita sustentar la elección de una alternativa y compararla con otras, en igual grado de desarrollo, de otros proyectos en orden a establecer prioridades de ejecución.

Hay tres áreas metodológicas claramente distinguibles en esta fase: diseño a nivel de anteproyecto, simulación de tráfico y evaluación. Todas ellas comprenden una serie de actividades, íntimamente relacionadas. Los anteproyectos físico y operacional entregan la información requerida para modelar las alternativas en estudio. La actividad de modelación busca representar las características físicas y operacionales de dichas alternativas y de la situación base. El modelo resultante en cada caso (alternativas y base) es la red pertinente dentro del área de influencia del proyecto. La actividad siguiente es la de simular las redes modeladas y su finalidad es obtener indicadores de su comportamiento que constituyen información básica para la evaluación. Realizado todo lo anterior, los costos de construcción son estimados a partir del anteproyecto, los beneficios de la operación de cada alternativa se obtienen del análisis de los resultados de la simulación y un análisis simultáneo permite estimar otros impactos, entre los que destacan aquellos sobre el medio ambiente. Con esta información de entrada se aborda el análisis

costo-beneficio de corto y largo plazo, de cada alternativa.

Las diferentes actividades en esta fase son las siguientes:

*Diseño Físico.* En esta fase se debe completar la representación de los diseños. La geometría de los elementos de infraestructura vial y de servicios, así como las afecciones a la propiedad que resulten del diseño, deberán ser objeto de cálculos para determinar con exactitud sus posiciones, dimensiones y costo.

*Diseño Operacional.* Consiste en la especificación de las condiciones de uso de la vialidad, mediante la determinación de un conjunto de regulaciones que constituye el sistema de control de tránsito. Aunque se refiere al uso de la vialidad, una determinada regulación puede implicar modificaciones menores al diseño físico. De ahí que sea crucial la relación en ambos sentidos entre diseño físico y diseño operacional en esta fase. También es clave su interacción con la simulación para optimizar algunas variables de control.

*Modelación y Simulación.* Para evaluar una determinada alternativa de diseño es necesario predecir las características de la circulación en el área de influencia del proyecto con la finalidad de estimar sus beneficios. Esto requiere modelos que de alguna forma representen las interacciones existentes entre los diferentes elementos del sistema en estudio, es decir, los efectos a nivel de la red. Así, la red, incluidas las interacciones entre vehículos, peatones, infraestructura, control del tráfico, etc., constituye un modelo de la realidad que se estudia, cuyo comportamiento se intenta predecir. Dado que en la mayoría de los casos no existen fórmulas analíticas que expliquen tales relaciones, normalmente se usan técnicas de simulación. Las herramientas de simulación (programas computacionales) entregan indicadores del comportamiento de las redes analizadas. Un análisis de estos resultados permite cuantificar una amplia gama de im-

pactos operacionales de los esquemas planteados.

*Estimación de Costos y Beneficios.* Esta actividad tiene como finalidad proveer de toda la información necesaria para la evaluación de alternativas. Respecto a los costos de inversión, la mayoría de las partidas en obras de construcción tienen un precio de mercado a partir del cual se estiman precios sociales. Existen casos en que se debe estimar costos sociales en forma especial. Entre ellos vale la pena mencionar el precio de reposición de servicios, de las expropiaciones y de las áreas verdes o áreas de uso recreacional. Respecto a los beneficios, se distingue entre los que se deben a impactos sobre el tráfico vehicular, que se estiman a partir de la simulación, y beneficios sobre otros usuarios del sistema. Como información adicional para la toma de decisiones se hace un análisis de grupos, el que permite presentar los beneficios de un proyecto según los diferentes grupos de usuarios del sistema.

*Evaluación.* La evaluación de alternativas tiene como objetivo esencial entregar la información relevante para apoyar el proceso de toma de decisiones. La evaluación económica incluye análisis costo-beneficio de corto y largo plazo. En general, los proyectos de gestión no estructurales, dado que tienen bajos costos de inversión y cortos períodos de vida útil, están sujetos solamente a un análisis de corto plazo basado en el cálculo de indicadores tales como la tasa de rentabilidad inmediata y valor presente neto del primer año. Los proyectos de infraestructura, en cambio, con costos de inversión mayores y más larga vida útil, están sujetos a los análisis de corto y largo plazo. Hay que realizar análisis de sensibilidad a una serie de variables para estudiar la influencia sobre la rentabilidad social estimada de la incertidumbre asociada a ellas. Este análisis es complementado con el de los impactos sociales y ambientales para ofrecer una perspectiva amplia, y lo más rigurosa posible, de los efectos de la alternativa sobre el conjunto de actividades y perso-

nas que tienen relación con el área sujeta a proyecto.

## Tratamiento de la información de flujos

El tratamiento de la información de flujos contempla básicamente tres etapas: mediciones en la situación actual, periodización y la estimación de flujos para cortes temporales. En el Anexo N° 1 de esta metodología, se describe cada una de estas etapas entregándose además, las definiciones básicas necesarias para un correcto entendimiento de la materia.

## Diagnóstico

La etapa de diagnóstico comprende la simulación y análisis de la situación actual y la determinación de los flujos de diseño físico.

Respecto de la simulación, en el Anexo N° 2 se explica el ámbito de ésta, describiendo los procesos de modelación y calibración. En el mismo Anexo se describen los objetivos de analizar la situación actual y el tratamiento a seguir para determinar los flujos de diseño.

## Generación de alternativas a evaluar

### Formulación de alternativas

*Definición de la situación base.* La evaluación de un proyecto implica comparar entre sí diversos cursos de acción. Los indicadores de rentabilidad social que se obtienen son entonces relativos y en procura de darles un sentido homogéneo, se define una situación de referencia que comprende cambios menores o nulos. Esta se denomina situación

base y existe para cada corte temporal. Su alcance depende del tipo de proyecto.

En el caso de los proyectos no estructurales de gestión, el objetivo principal del proyecto es optimizar, a través de inversiones reducidas, la situación actual, lo que hace aconsejable que ésta sea la base. Pero como hay que referirla al corte temporal en que se evaluará, en que los flujos serán distintos de los presentes, debe adecuarse la programación de semáforos a los flujos proyectados.

En los proyectos no estructurales de infraestructura debe prestarse especial atención a la definición de la situación base. Con frecuencia, las condiciones deterioradas que se dan en la situación actual responden, al menos parcialmente, a una utilización ineficiente de la vialidad disponible. Medidas de costo sustancialmente inferior al del proyecto podrían, en tales circunstancias, producir mejoras importantes. Introducir las en la situación base evita atribuir a la nueva infraestructura beneficios que no le son propios. El carácter de dichas medidas ha de estar en proporción al del proyecto en cuanto al ámbito espacial de aplicación y a su costo. No obstante, se recomienda que ellas sean de gestión de tránsito, orientadas a abordar problemas de subutilización de capacidad detectados en el diagnóstico. Es cierto que a veces cabe concebir soluciones que conlleven modificaciones a la infraestructura de magnitud menor. Es preferible que éstas se traten como alternativas de diseño y no como componentes de la situación base. En particular, no pueden incluirse en ésta rediseños que impliquen expropiaciones o reposición de servicios públicos.

*Planteamiento de Alternativas.* Un proyecto representa una transformación de la situación base que pretende alcanzar objetivos determinados. El modo de intervención sobre la vialidad o su uso queda definido para cada estudio, mediante la clasificación del proyecto. Pero él puede materializarse de diversas formas, que difieren sensiblemente en sus características físicas u operacionales

pero no en el tipo y ámbito de los impactos que producen. Estas formas se denominan alternativas.

Todo proyecto tiene efectos en cuatro aspectos principales: fluidez del tráfico, seguridad vial, accesibilidad al transporte, a la propiedad adyacente y calidad ambiental del área circundante. Generar alternativas supone conocer objetivos específicos en cada aspecto, sea para modificarlo o para mantenerlo inalterado, los que deberán ser explicitados con el mayor detalle posible. Las orientaciones provistas en las Bases Técnicas del estudio, la información recolectada y su análisis en el diagnóstico y las opiniones e inquietudes de los usuarios y organismos locales involucrados, conforman los antecedentes en que ha de basarse esta actividad.

Normalmente habrá varios elementos físicos comprometidos por el diseño para los que cabe idear tratamientos distintos. No por ello la más mínima modificación constituirá una alternativa. Conviene diferenciar acciones primarias y complementarias y sólo las primeras podrán dar origen a alternativas diferenciadas.

*Acciones primarias.* Son las que constituyen la esencia del proyecto en cuanto determinan el carácter y la magnitud de las obras a emprender. Por ejemplo, solución a nivel o a desnivel en un nudo, ensanchar a tres o a cuatro pistas una vía, abrir una nueva conexión de doble sentido de tránsito o dos de sentido único; o si se trata de proyectos de gestión, hacer un cambio de sentido de tránsito o imponer sentido reversible, establecer prioridad para ciertos usuarios en unas u otras vías u horas.

*Acciones complementarias.* Son aquellas destinadas al tratamiento de conflictos locales o a corregir el efecto de alguna acción primaria para preservar un objetivo. Por ejemplo, habilitar una pista o fase especial para cierto viraje, relocalizar lugares de estacionamiento, crear facilidades para el cruce de los peatones en una intersección. Si bien hay varias maneras de concretar acciones semejantes no constituyen alternativas,

tal como éstas han sido definidas. Son decisiones que hay que adoptar al interior de cada alternativa como problema de diseño operacional.

El estudio conjunto de los antecedentes mencionados permitirá identificar formas alternativas de alcanzar los objetivos planteados. Aunque ellas pueden ser muy distintas de un proyecto a otro es necesario, en primer lugar, que su concepción esté sujeta a estándares generales derivados de la jerarquía que ocupa en la red cada vía.

Los proyectos no estructurales de gestión no atraviesan por una selección de alternativas ya que ellas son escasas. Lo fundamental en este caso es, apoyándose en el diagnóstico, concebir acciones que efectivamente provocarán los cambios deseados en los parámetros operacionales. Muchas veces, medidas exitosas en un contexto no lo son en otro para un mismo problema; justificar detalladamente las medidas propuestas es, entonces, esencial en estos proyectos.

### **Selección de alternativas**

Aunque para generar alternativas se haya seguido un proceso estructurado y apoyado en la simulación de la situación actual, no todas ellas merecerán un análisis más detallado. Las restricciones de recursos de los estudios obligan a considerar en el nivel de anteproyecto un número reducido de situaciones. Para que la selección sea objetiva y lo más consistente posible con el conjunto del proceso de desarrollo de un proyecto, debe basarse en métodos similares a los que se usan posteriormente en su evaluación. Por otra parte, es recomendable que esta actividad signifique un volumen de trabajo proporcionado a la trascendencia de la decisión en que resulta y al grado de precisión de la información con que se alimenta, definido por los prediseños. Se entiende que algunas de las ideas de proyecto concebidas pueden haber sido previamente descartadas.

En esta etapa se requiere contar previamente con información relativa a terreno, datos de tránsito y estimación de parámetros de tránsito. Para mayor detalle de esta información ver Anexo N°3.

## **Modelación y simulación**

Se trata de predecir las características de la circulación en el área de influencia con el fin de estimar posteriormente los beneficios de las alternativas de diseño. Es importante que la predicción sea certera, para lo cual debe tenerse en cuenta los fenómenos más relevantes que se producen. De aquí la necesidad de llevar a cabo este proceso con modelos matemáticos que recojan las complejas interacciones que tienen lugar en el área, particularmente las que dicen relación con efectos de red. El desarrollo de herramientas completamente analíticas a este nivel es todavía bastante insuficiente; en cambio, técnicas de simulación han dado excelentes resultados. En suma, el propósito que se persigue es predecir las características de la circulación en cada caso a través de programas computacionales que, generalmente, simulan la red pertinente. Esta red es un modelo matemático, tan representativo como sea posible, de la situación correspondiente. La predicción puede servir eventualmente para introducir correcciones al diseño físico u operacional de una alternativa.

En esencia las variables a predecir son: velocidades en los tramos de vía (arcos de la red), demoras y detenciones en los nodos de la red. En algunos casos, las velocidades serán datos y en otros (proyectos con reasignación) habrá también que predecir los flujos en los arcos. Cabe destacar que normalmente, si bien hay parámetros de la capacidad que vienen determinados por el diseño físico y operacional, el valor de ella será establecido en el proceso de simulación ya que está influido por factores, como la programación de los semáforos o la forma de los patrones de llegada, que resultan de ese

proceso. Con todo, la capacidad no interesa por sí misma sino a través de su efecto sobre demoras y detenciones, para la evaluación.

En cada proyecto debe ser modelada y simulada cada alternativa seleccionada y la situación base (si la hay) en cada período de cada corte temporal.

Para una detallada descripción de las etapas a seguir en la modelación y simulación referirse a SECTU (1988).

## **Conceptos generales y evaluación económica**

### **Aspectos generales de la evaluación**

#### **Fundamentos del proceso de evaluación**

*Definición de la situación base:* El proceso de evaluación de alternativas requiere definir una situación base que servirá de referencia para la estimación de beneficios, costos e indicadores de rentabilidad. Se entiende, por lo tanto, que la alternativa de referencia puede ser la seleccionada por lo cual debe ser factible de implementar además de cumplir las condiciones mínimas de funcionamiento impuestas para el conjunto de alternativas. Por definición, la situación base no debe ser sometida a evaluación, incluyéndose en ella aquellos mejoramientos en gestión y/o rediseños cuya rentabilidad esté asegurada. En aquellos casos en que el monto de las inversiones de la situación base supere el 10% de la inversión media de las alternativas en estudio se recomienda evaluar la situación base en relación a la situación actual. Si supera el 20% debe ser evaluada, cambiándose por lo tanto la situación de referencia. Por último, si dentro del período de evaluación, y por lo tanto de comparación de alternativas, la situación base ad-

quiere un elevado nivel de saturación puede resultar aconsejable plantear mejoramientos en ella en algún año intermedio (por ejemplo, año 10).

**Valoración de recursos:** La evaluación económica se realiza comparando las diversas alternativas con la situación base como referencia (equivalente a situaciones sin y con proyecto) durante la vida útil económica definida para el estudio. La comparación se efectúa considerando el valor social de los recursos consumidos. En algunos casos la valoración social deberá ser estimada por el margen de la demanda del recurso (disponibilidad a pagar, eventualmente corregida por factores de equidad que consideran distribución de ingreso) y en otros por el margen de la oferta (costos de producción menos transferencias). Para los recursos básicos mano de obra y divisas deben utilizarse los factores de corrección al precio de mercado indicados por MIDEPLAN. Otros parámetros sociales de importancia para el proceso de valoración de recursos pueden ser sugeridos directamente por la Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte (Ex-Comisión de Transporte Urbano).

### **Impactos considerados en la evaluación económica**

**Definición:** Los impactos considerados en la evaluación económica serán todos aquellos en que resulta posible y aconsejable hacer una estimación monetaria, a precios sociales, de los recursos afectados por el proceso de comparación de alternativas. La clasificación principal reduce la evaluación económica a la determinación de costos de inversión y beneficios económicos.

**Costos de inversión:** Considera todos los recursos necesarios para la construcción de las obras en los períodos correspondientes, incluyendo los sistemas operativos necesarios para su óptimo funcionamiento. Estos últimos adquirirán especial relevancia y su

situación deberá ser más precisa en proyectos de gestión. De acuerdo con las características del proyecto y alternativas en estudio podrá ser necesario agregar a los costos de construcción una estimación de los costos de congestión durante la construcción. Con fines de evaluación el costo de inversión de una alternativa corresponde al costo diferencial entre la situación base y la alternativa de referencia.

**Beneficios económicos:** En beneficios económicos se incluyen todos los impactos económicamente cuantificables provocados por la inversión de cada alternativa, obtenidos como diferencial con respecto a la situación de referencia. Se pueden clasificar en dos grandes grupos: beneficios económicos provenientes de impactos sobre el tránsito vehicular, cuya estimación provendrá fundamentalmente de modelos de simulación de tráfico; y otros beneficios económicos, que incluyen impactos sobre otros usuarios además del valor residual considerado al final de la vida útil económica de cada alternativa. Se excluye en este caso la consideración de beneficios al tránsito vehicular proveniente de mejoramientos en la carpeta de rodadura.

**Análisis de grupos:** La presentación de los beneficios económicos del proyecto según los diferentes usuarios del sistema de transporte permitirá hacer un análisis de los grupos favorecidos o perjudicados por cada alternativa. Este análisis debe ser complementado por los impactos sociales y de medio ambiente, negativos o positivos, sobre cada uno de ellos.

### **Impactos considerados en la evaluación social y ambiental**

**Definición:** Se incluye en este tipo de impactos a todos aquellos efectos positivos o negativos de un proyecto que, siendo de relevancia para el estudio (explicitados o no en los objetivos), no quedan considerados en la evaluación económica. Este análisis

adquiere de esta forma un carácter complementario a la evaluación económica, estableciéndose entre ambos el conjunto de elementos que servirán a la autoridad competente para tomar una decisión.

**Impactos sociales:** Un proyecto de vialidad en un contexto urbano puede provocar un número apreciable de impactos sociales que no quedan recogidos en la evaluación económica. Algunos de ellos pueden ser:

- disminución o aumento de áreas verdes;
- cambios en uso del suelo producto de expropiaciones;
- efectos sobre peatones y bicicletas siempre que no hayan sido incorporados en la evaluación económica;
- aumento o disminución de oferta de estacionamientos;
- accidentes.

**Impactos sobre el medio ambiente:** Los impactos más usuales sobre la calidad ambiental son: contaminación del aire, ruido, intrusión visual y vibraciones.

## Criterios de rentabilidad y proyección de beneficios

### Introducción

Los proyectos de vialidad urbana presentan algunas características particulares que justifican un tratamiento especial en la utilización de indicadores de rentabilidad y proyección de beneficios. Las más importantes son:

- Carácter creciente de los flujos, lo cual permite esperar una estructura de consumo de recursos y beneficios también creciente. En este sentido, la utilización de indicadores de rentabilidad de corto plazo plantea una serie de ventajas.
- Alta complejidad en la simulación de cada una de las alternativas para cada período de modelación. Esta característica hace en la práctica imposible simular to-

dos los períodos para cada año de plazo de evaluación, siendo necesario desarrollar procedimientos ad-hoc de proyección de beneficios.

### Criterios de rentabilidad de corto plazo

Su utilización es adecuada cuando los beneficios son crecientes y cuando el incremento relativo de los beneficios entre alternativas se mantiene aproximadamente constante. Alternativas que significan montos de inversión y capacidad de reserva significativamente diferentes deben evaluarse utilizando indicadores de largo plazo. Los indicadores de corto plazo que se sugiere son:

**Tasa de rentabilidad inmediata.** Está dada por

$$TRI = b_1 / I_0$$

en que:

TRI : tasa de rentabilidad inmediata (o tasa de retorno del primer año) y corresponde al valor de la tasa de actualización social (a) que hace cero el valor actualizado neto del primer año

$b_1$  : beneficios del primer año de funcionamiento del proyecto

$I_0$  : inversión actualizada al año anterior al primero de funcionamiento

Si TRI es mayor que la tasa de actualización social (a) vigente, el proyecto se considera rentable.

**Valor actualizado neto.** Para el primer año se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$VAN_1 = (b_1 - I_0 \cdot a) / (1 + a)$$

en que:

$VAN_1$  : valor actualizado neto del primer año. Corresponde al costo de postergar un año el proyecto

a : Tasa de actualización social

### Criterios de rentabilidad de largo plazo

Los indicadores usuales de largo plazo corresponden al Valor Actualizado Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR),

la razón Beneficio-Costo (B/C) y Valor Actualizado Neto por unidad de inversión (IVAN). Los dos últimos resultan aconsejables cuando se trata de decidir entre proyectos que disputan un mismo presupuesto. La descripción de estos indicadores se encuentra en diversos textos de evaluación de proyectos.

### *Proyección de beneficios*

Los proyectos son clasificados de acuerdo a sus características, lo que define su metodología de evaluación. Los proyectos de gestión no estructural no requerirán proyección de beneficios, evaluándose a partir de indicadores de corto plazo.

En los proyectos de infraestructura sin reasignación, la proyección de beneficios se obtiene a partir de la curva de beneficios por hora para cada período simulado, teniendo como límite en el crecimiento del flujo la capacidad existente en los accesos al área modelada. Esta capacidad se supone invariante entre las situaciones base y las alternativas de proyecto.

## **Costos de inversión**

### **Aspectos generales**

**Definición:** La evaluación económica de una alternativa corresponde esencialmente a una comparación de los beneficios económicos que ella produce durante su vida útil con los costos de inversión necesarios para su puesta en funcionamiento. Los beneficios económicos corresponden a un diferencial de consumo de recursos durante la vida útil de la alternativa, con relación al de una situación base de referencia. Los costos de inversión de una alternativa, con fines de evaluación, se estiman también como un diferencial con relación al requerido por la misma situación base. Los costos de inversión

consideran fundamentalmente los costos asociados al suelo urbano, a la construcción de las obras, incluyendo los costos de los sistemas de operación y control de tránsito, así como los del proyecto definitivo de ingeniería y de asesoría y supervisión de la construcción. En determinados casos será importante considerar los costos de congestión durante la construcción.

### *Algunos conceptos básicos*

Los costos de inversión deben determinarse tanto a precios de mercado, con fines de asignación presupuestaria, como a precios sociales con fines de evaluación. Algunos elementos importantes de considerar son:

- La determinación de precios sociales, en la generalidad de los casos, se realiza a partir de los precios de mercado, eliminando las transferencias internas de la sociedad (aranceles, impuestos, utilidades supernormales o monopólicas cuando existan, etc.). De esta forma se deberá intentar reflejar el grado de escasez del bien para la economía, descomponiendo los precios de mercado de cada partida en sus recursos básicos y aplicando los factores sociales establecidos por MIDEPLAN.
- Debe considerarse en los costos de inversión, todas aquellas partidas en que se incurrirá a futuro como consecuencia de la decisión, más aquellas que, a pesar de haber sido financiadas previamente, tienen un uso alternativo y por lo tanto es posible determinarles un costo de oportunidad. Entre estas últimas se puede mencionar el valor de la tierra, aún cuando ya esté disponible para el proyecto por ser de propiedad pública.
- Será importante considerar en los costos de inversión, y por lo tanto en la evaluación económica, los costos de congestión durante la construcción cuando existan diferencias apreciables entre las alternati-



vas que se comparan. Por ejemplo, cuando se compara un aumento de capacidad en una ruta existente con alto nivel de tráfico, versus una ruta alternativa nueva. En el caso de estimarse necesaria su incorporación, el costo resultante deberá ser agregado al de inversión en el período en que se produzca.

### **Determinación de costos de inversión**

La generalidad de las partidas en obras de construcción tienen un precio de mercado a partir del cual es posible estimar el precio social. Hay sin embargo algunas partidas que ya sea por no transarse en el mercado o por sus peculiares características tienen un alcance especial.

**Precio social de la reposición de servicios:** Los presupuestos que se solicite a las empresas de servicios correspondientes deberán consignar separadamente los costos que involucran divisas, mano de obra en sus diferentes grados de calificación y costos internos del país. Además, deberá ser posible extraer a partir de dichos presupuestos qué partidas corresponden exactamente a reposición de servicios y cuales a inversión en mejoras. A partir de la información anterior será posible estimar el precio social con la metodología tradicional.

**Precio social de expropiaciones:** En general se aceptará como válida una estimación del precio social de las expropiaciones a partir del precio de mercado, bajo el supuesto de que éste último es un buen asignador del recurso suelo y/o de edificaciones. Sin embargo, debe incluirse en el costo de expropiación todos aquellos costos relativos a los procesos judiciales y negociaciones, con participación tanto de profesionales del sector público como privado.

**Precio social de área verde y/o áreas de uso público recreacional:** Un proyecto de vialidad urbana puede consumir áreas verdes o de uso público recreacional, así como entregar una mayor disponibilidad para su uso social.

A pesar de que el valor del suelo sea sustancialmente diferente entre diferentes sectores de la ciudad se estima adecuado por razones de equidad asignarle un valor social único a nivel de cada área urbana. Dicho valor se deberá estimar localmente de acuerdo a la disponibilidad financiera y al grado de escasez que tenga el recurso. El valor a utilizar en la evaluación deberá ser aportado por la Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte a fin de darle uniformidad al proceso de evaluación de proyectos de vialidad urbana.

Respecto de las partidas de obras, en SECTU (1988) se entrega un listado de partidas de costos de inversión en proyectos de vialidad urbana que recoge la experiencia acumulada en el país.

## **Beneficios económicos**

### **Beneficios provenientes del tránsito**

#### *Introducción*

Los beneficios económicos producto del ahorro de recursos asociados al desplazamiento de vehículos se obtienen directamente de los resultados de la simulación de tránsito comparando cada alternativa con la situación de referencia. Los recursos que se consideran son: tiempo de usuarios (viajeros), combustible y otros recursos de operación de vehículos. La estimación del total de beneficios anuales depende del número de horas al año que representa cada uno de los períodos simulados, situación que se trata diferenciadamente según tipo de proyecto. En los párrafos siguientes aparecen las expresiones que relacionan las variables para hacer la estimación. Ellas están adaptadas a los resultados que entrega el modelo *TRANSYT*. En los casos excepcionales en que se usa otro programa hay que emplear métodos equivalentes.

**Beneficios de tiempo de viaje**

Derivan de computar los consumos totales de tiempo de los usuarios en cada situación. Para un corte temporal y situación dados, se calculan sobre una base anual agregando las semanas tipo en que se divide el año. Luego, el consumo anual de tiempo en una situación (base o alternativa) y corte temporal determinados, está dado por:

$$CTA = \sum_{n=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NP_m} CT_{im}$$

donde  $CT_{im}$  es el consumo de tiempo en el período  $i(i=1, \dots, NP_m)$  de la semana tipo  $m(m=1, \dots, NS)$  y su expresión para cada tipo es:

$$CT_i = FE_i \cdot \sum_{j=1}^{NV} (VT_j \cdot \sum_{k \in NA_j} q_{ijk} TV_{ik} TO_{ijk})$$

en que:

- $FE_i$  : factor de expansión anual del período  $i$  (hr/año);
- $q_{ijk}$  : flujo de vehículos tipo  $j$  ( $j=1, \dots, NV$ ) en el arco  $k$  durante el período  $i$  (veh/hr)
- $TO_{ijk}$  : idem para la tasa de ocupación (pax/veh)
- $TV_{ik}$  : tiempo medio de viaje medido por TRANSYT (agregando si es preciso la demora geométrica) para los vehículos del arco  $k$  en el período simulado  $i$ . Resulta de dividir, en la salida del programa, el tiempo total en el arco por su flujo (hrs)
- $NA_j$  : conjunto de arcos de la red en que hay vehículos del tipo  $j$
- $VT_j$  : precio social del tiempo para los usuarios de vehículos tipo  $j$  (\$/pax- hr)

El factor de expansión depende del tipo de proyecto. En proyectos sin reasignación de flujos la semana tipo se particiona completamente en períodos que se simulan.

La expresión a usar es:

$$FE_i = NS \cdot NH_i$$

donde:

- $NS$  = número de semanas al año de la semana tipo correspondiente
- $NH_i$  = número de horas de la semana tipo que comprende el período  $i$

Los beneficios son estimados separadamente para cada corte temporal.

**Beneficios de combustible**

Los consumos anuales de combustible en cada situación y corte temporal resultan también de la agregación de su valor para cada semana tipo considerada:

$$CCA = \sum_{m=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NP_m} CC_{i,m}$$

donde  $CC$  denota consumo de combustible y las demás variables han sido definidas en el párrafo anterior. Para computar  $CC$  en un período en \$/año; se debe utilizar la siguiente expresión:

$$CC_i = FE_i \sum_{j=k}^{NV} [VC_j \cdot \sum_{k \in NA_j} q_{ijk} (L_k \cdot cm_j(v_{ik}) + h_{ik} \cdot cd_j(v_{ik}) + d_{ik} \cdot cr_j)]$$

donde:

- $L_k$  : longitud del arco  $k$  (km)
- $h_{ik}$  : número medio de detenciones por vehículo en el arco  $k$  y período  $i$
- $cm_j$  : consumo unitario en movimiento de los vehículos tipo  $j$ , función de la velocidad, (lt/veh-km)
- $cd_j$  : consumo en exceso por una detención de un vehículo tipo  $j$ , función de la velocidad, (lt)
- $VC_j$  : precio social del combustible (\$/lt)
- $d_{ik}$  : demora en arco  $k$  durante el período  $i$
- $cr_j$  : consumo en ralentí de los vehículos tipo  $j$

De TRANSYT pueden obtenerse las variables  $L_k$ ,  $h_{ik}$  y  $d_{ik}$  (agregando demora geométrica, si procede) y la velocidad  $v_{ik}$ . Los consumos unitarios de cada clase se indican en tablas N° 3 a N° 5 del Anexo N° 4. Para velocidades no incluidas en las tablas indicadas, se interpola. Si hay en algunos arcos gradientes significativas, hay que incorporar su efecto en el consumo de combustible en movimiento. Designando por  $G$  la pendiente (en %) se hace  $cm = cm + KG$ ; el valor del parámetro  $K$  también depende de la velocidad y figura en la tabla 6 del Anexo N° 4. Si la pendiente es negativa, la disminución consiguiente de  $cm$  tiene como límite inferior  $cm = cr$ . Los factores de expansión  $FE_i$  son calculados con las mismas expresiones del párrafo anterior. También se hace por separado la estimación de beneficios para cada corte temporal.

### *Beneficios por otros costos de operación*

Se consideran como otros costos de operación de vehículos los ahorros en los siguientes recursos: lubricantes, neumáticos, mantención y depreciación. Todos ellos se entenderán dependientes de la distancia recorrida, por lo cual, en el caso de proyectos que no lleven asociados cambios en ella, no corresponde estimar este tipo de impacto. En la tabla N° 7 (ver detalle en Anexo N° 4), se entrega una estimación del valor del consumo unitario de estos recursos. TRANSYT entrega una estimación de la distancia viajada en la red para cada tipo de vehículo (arcos de buses y tráfico general) con la que se puede obtener el consumo total anual para cada situación y corte temporal. Excepcionalmente, si se producen ahorros significativos en tiempos de viaje que signifiquen menores tiempos en el ciclo de operación de vehículos comerciales (taxis colectivos, buses y taxibuses especialmente) puede estimarse un ahorro de parque, evitándose un doble conteo con ahorros por depreciación. De producirse esta última situación es también posible agregar un ahorro por concepto de interés relativo al costo de oportunidad del capital del parque vehicular ahorrado.

Todos los ítemes, con excepción de la mano de obra, corresponden a bienes transables para los que puede suponer que sus componentes importados y nacionales variarán en función del precio social de la divisa. La mano de obra de mantención, deberá variar con relación al Índice General de Sueldos y Salarios (IGSS), para fines de actualizar los valores de la tabla.

### **Precio social de los recursos**

#### *Introducción*

En este acápite se aborda el problema de los precios sociales de los recursos relacio-

nados con el consumo de combustible y tiempo de usuarios del sistema de transporte, incluyendo entre estos últimos a peatones y usuarios de bicicletas. Los precios sociales deben reflejar el grado de escasez de los recursos para la economía o su costo de oportunidad social.

#### *Precio social del tiempo de usuarios*

Los ahorros de tiempo constituyen un elemento clave en la evaluación socio-económica de proyectos de transporte. Para valorarlos se considerarán dos grandes categorías:

- tiempo de trabajo, que se refiere sólo a viajes realizados como parte de la actividad laboral de las personas, y
- tiempo normal, que considera todos los otros propósitos de viaje, incluyendo el viaje al trabajo.

A continuación se presentan recomendaciones para el cálculo de cada uno.

- Precio social del tiempo de trabajo. Se considera que éste es igual al ingreso bruto del viajero incluyendo cualquier costo adicional al empleador; sin embargo, se recomienda un valor único, igual al sueldo promedio en el país de un empleado adulto a jornada completa, por que permite consistencia entre evaluaciones. es equitativo entre individuos, regiones y modos de transporte y es más simple de aplicar.
- Precio social del tiempo normal. Se recomienda un valor equitativo único para todos los propósitos de viaje, medios motorizados, regiones e individuos, igual al 43% del sueldo promedio de un empleado adulto a jornada completa.
- Variaciones del precio social del tiempo. Como existe evidencia de que la valoración de ahorros de tiempo es distinta para jubilados, empleados adultos, otros adultos y escolares, el precio social estándar recomendado anteriormente, con-

sidera la composición promedio de estas categorías en el país. La tabla N° 8 del Anexo N° 4, entrega valores separados para estos grupos, a fin de que sea posible estimar valores apropiados para situaciones en las cuales esta composición sea considerada drásticamente distinta del promedio nacional.

También existe evidencia de que la valoración de las distintas componentes del tiempo de viaje es diferente. Por esto, si se dispone de información sobre esas componentes, se recomienda valorar el tiempo de espera en 2 veces el tiempo de viaje en el vehículo; el tiempo de caminata, ya sea de acceso a otro medio o como tiempo total del viaje, se debe valorar en 1,5 veces el tiempo de viaje en el vehículo; este último valor también debe ser aplicado a viajes en bicicletas.

*Precio social del combustible*

El precio social del combustible se estima a partir del precio social de los recursos involucrados en las diferentes etapas hasta alcanzar al consumidor final. Considerando su utilización en evaluación de proyectos, donde el efecto se traduce en una variación marginal del consumo a nivel nacional, el precio social base a considerar corresponde al precio de combustible importado (valor CIF) al cual se debe agregar los recursos internos en comercialización y distribución. Las diferencias que se puede observar a nivel interno del país se deben fundamentalmente a diferencias en estos últimos. La metodología para el cálculo del precio social del combustible se encuentra en SECTU (1988).

**Análisis de sensibilidad**

A través de este análisis se intenta medir el nivel de sensibilidad en la estimación de los indicadores de rentabilidad frente al

comportamiento de determinadas variables relevantes. En la selección de una variable a sensibilizar, debe considerarse dos aspectos básicos:

- que tenga un impacto significativo en la estimación de los costos de inversión de beneficios económicos, y
- que presente un nivel de incertidumbre apreciable en su estimación actual o futura.

Se deberá definir para cada caso un rango probable de variación con relación al valor medio estimado, sensibilizando individualmente el impacto causado sobre los indicadores de rentabilidad.

Sin perjuicio de que cada estudio, de acuerdo con sus características, plantee exigencias adicionales de sensibilización, se estima como mínimo calcular los indicadores de corto plazo frente a las siguientes variables y respectivos rangos de variación:

<b>Variable</b>	<b>Rango</b>
Costo global de la inversión	± 20%
Valor de las expropiaciones	± 25%
<b>Beneficios de tiempo de viaje</b>	
usuarios locomoción colectiva	-70; +20%
otros usuarios	± 20%
<b>Otros Beneficios</b>	
otros costos de operación	± 20%

La introducción de una fuerte reducción de los beneficios de tiempo de viaje de los usuarios de locomoción colectiva responde a que los métodos de modelación existentes tienden a sobreestimarlos. Estos errores, inevitables en tanto no sean incorporadas nuevas recomendaciones al respecto, pueden tener gran trascendencia en la decisión por la alta proporción de ese tipo de usuarios. En proyectos en que se haya hecho un esfuerzo especial en el tratamiento de los buses la incertidumbre será menor y el rango debe ser reducido.

Los conceptos generales del análisis de sensibilidad a aplicar a los resultados de la evaluación a largo plazo son equivalentes a los de la evaluación a corto plazo agregán-

dose algunas variables a sensibilizar. Para los proyectos de infraestructura sin reasignación: tasa de crecimiento de los beneficios = 30%.

## Presentación del documento

La presentación del proyecto o estudio resultante debe incluir al menos todos los puntos señalados en la sección **preparación de proyectos** de esta pauta, agregando un primer capítulo llamado "Resumen y Conclusiones" donde se presente una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de modo que sea autosuficiente para entender todo el proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

Con respecto a la forma de presentación del documento que contiene el detalle del estudio de preinversión, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.
- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.
- Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con un número que se explicará a pie de página.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

D I P L O M A D O

PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS

MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS

**FUENTE:** MIDEPLAN, INVERSION PUBLICA, EFICIENCIA Y EQUIDAD  
(SANTIAGO DE CHILE, 1992)

CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO

SISTEMA NACIONAL DE INVERSION PUBLICA

BANCO INTEGRADO DE PROYECTOS

Palacio de Minería

1995

## 2. Materializando la inversión

### El proceso de transformación de las ideas de inversión. Ciclo de vida de un proyecto

La transformación de las ideas de inversión significa la utilización de recursos (humanos, materiales, financieros, etc.) que van agregando valor a las mismas, a medida que se pasa de la identificación a la formulación, evaluación, ejecución del proyecto y luego, a su puesta en marcha. Si bien este proceso de transformación adquiere en la práctica matices distintos para cada proyecto, es posible observar que en todos los casos se dan algunas características que permiten efectuar una cierta generalización de éste.

En otros términos, se podría asemejar esta acción transformadora a una serie de procesos de producción, en cada uno de los cuales el proyecto va revelando su potencialidad, lo que permite tomar decisiones sobre profundizar el estudio, modificarlo, postergarlo, abandonarlo, o ejecutarlo y ponerlo en operación.

La trayectoria de todo proyecto, que se materializa generalmente en una obra física,

constituye su ciclo de vida. Más específicamente, ciclo de vida de un proyecto es el proceso de transformación de las ideas de inversión y el paso de los proyectos durante su vida a través de los estados de preinversión, inversión y operación.

A continuación se analizará en qué consiste cada estado explicando las etapas que lo componen. En general, se hará referencia a métodos y procedimientos de análisis que se han adoptado en el Sistema Nacional de Inversión de Chile<sup>1</sup>, aunque muchos conceptos son aplicables para otros países o para proyectos privados de inversión.

### Estado de preinversión

En este estado se prepara y evalúa el proyecto de manera de obtener de él, el máximo excedente económico a lo largo de su vida útil, realizando para esto estudios de mercado, técnicos, económicos, financieros y otros, que aseguren al mismo tiempo maximizar beneficios y minimizar costos.

<sup>1</sup> Sistema que expone en detalle en la Sección III de este documento.

La selección de los mejores proyectos de inversión, es decir, los de mayor bondad relativa y hacia los cuales deben destinarse preferentemente los recursos disponibles, constituye un proceso que sigue etapas secuenciales.

Estas etapas son:

- Generación y análisis de la idea de proyecto
- Estudio en el nivel de perfil
- Estudio de prefactibilidad
- Estudio de factibilidad

Cada etapa busca reproducir el ciclo de vida del proyecto, de manera que a medida que se avanza en las etapas, los estudios van tomando mayor profundidad y se va reduciendo la incertidumbre, respecto a los beneficios netos esperados del mismo. La secuencia iterativa entonces, tiene por justificación evitar elevados costos de estudios y poder desechar ya en las primeras etapas los proyectos que no son adecuados.

Cada etapa se presenta en la forma de un informe respectivo, cuyo objetivo fundamental es presentar los elementos que intervienen orientados claramente a la toma de decisión de abandonar la idea o proseguirla.

Los informes por lo general deben contener los siguientes aspectos:

**Diagnóstico**, que consiste en una descripción cifrada del problema que da origen a la idea del proyecto; aclara por qué el proyecto planteado viene a solucionarlo en parte o totalmente. Es una justificación del proyecto como idea.

**Metodología de evaluación**<sup>2</sup> que indica paso a paso cómo se calcularán los beneficios netos del proyecto; ello implica entre otros aspectos, definir exactamente la situación base o situación sin proyecto contra la cual éste se comparará, es decir, qué ocurrirá durante el horizonte de evaluación si no se realiza el proyecto. También implica establecer la separabilidad del conjunto de acti-

vidades que representa el proyecto, dando paso así a subproyectos que deben evaluarse independientemente.

**Análisis de factibilidad**, que persigue determinar claramente los beneficios netos esperados del proyecto, construyendo el perfil de los flujos de beneficios y costos en el tiempo, los que se obtienen del análisis de los aspectos de mercado, tecnológicos, administrativos y legales, y financieros del proyecto.

**Evaluación** propiamente tal, que valora los beneficios netos del proyecto y conduce a conclusiones específicas sobre el asunto, de modo que la decisión que se tome sea clara respecto a sus limitaciones y/o riesgos.

## Generación y análisis de la idea de proyecto

En esta primera etapa es crucial emitir un buen diagnóstico, de modo que la generación de una idea de proyecto de inversión surja como consecuencia clara de necesidades insatisfechas, de políticas generales, de un plan de desarrollo, de la existencia de otros proyectos en estudio o en ejecución que requieren complementación mediante acciones en campos distintos, etc. En el planteamiento y análisis del problema corresponde definir la necesidad que se pretende satisfacer estableciendo su magnitud y señalar a quienes afectan las deficiencias detectadas (grupos, sectores, regiones o la totalidad del país).

Se requiere indicar los criterios que han permitido identificar la existencia del problema, verificando la confiabilidad y pertinencia de la información utilizada. De tal análisis surgirá la especificación precisa del bien que se desea construir o el servicio que se pretende dar.

<sup>2</sup> En la Sección II de este documento se exponen en detalle diversas Metodologías de Evaluación Social de Proyectos, utilizadas en Chile para determinar la bondad de los proyectos de inversión presentados por distintos Sectores.



Asimismo, en esta etapa corresponde identificar todas las alternativas de solución del problema previamente detectado.

Respecto de la idea de proyecto definida en una primera instancia, el análisis deberá servir para adoptar la decisión de abandonarla, postergar su estudio, o profundizarla.

## Estudio en el nivel de perfil

En esta etapa corresponde estudiar todos los antecedentes que permitan formar un juicio respecto de la conveniencia y factibilidad técnico-económica de llevar a cabo la idea de proyecto. El énfasis está en **identificar** los beneficios y costos pertinentes, sin incurrir en mayores costos en recursos financieros y humanos para medirlos y valorarlos.

La elaboración del perfil debe incluir un análisis preliminar de los aspectos técnicos, de los estudios de mercado y los de evaluación. Para su realización se utilizarán cifras estimativas que incluyan cuando corresponda, una aproximación gruesa a los costos y beneficios. Este análisis permitirá elaborar el perfil de proyecto y deberá considerar un mínimo de elementos, de modo de evitar el rechazo de la idea a causa de la carencia o poca precisión de la información aportada.

En la etapa de perfil se usan los datos disponibles y eventualmente se generan algunos otros a partir de estudios preliminares, pero, en general, no se incurre en mayores costos en crear ni generar datos nuevos.

En la evaluación se deben identificar y explicar los beneficios y costos del proyecto, para lo cual se requiere definir la situación "sin proyecto", es decir, preveer qué sucedería en el horizonte de evaluación si éste no se ejecutara.

El perfil permite, en primer lugar, analizar la viabilidad técnica de las distintas alternativas propuestas, descartando aquellas que no son factibles técnicamente.

En los proyectos que involucran inversiones pequeñas y cuyo perfil muestra la conve-

niencia de su implementación, cabe avanzar de inmediato al diseño o anteproyecto de ingeniería de detalle, sin pasar por las otras etapas.

Dependiendo del resultado del estudio a nivel de perfil es posible adoptar algunas de las siguientes decisiones :

- Profundizar el estudio en los aspectos del proyecto que lo requieran. Para facilitar esta profundización conviene formular claramente los términos de referencia de tales estudios.
- Ejecutar el proyecto con los antecedentes disponibles en esta etapa, siempre que se haya llegado a un grado aceptable de certidumbre respecto de la conveniencia de materializarlo.
- Abandonar definitivamente la idea.
- Postergar la ejecución del proyecto.

## Estudio de prefactibilidad

En esta etapa se examina con más detalle las alternativas viables desde el punto de vista técnico, económico, y social que fueron determinadas en general en la etapa anterior, descartando las menos atractivas y seleccionando la o las mejores.

El énfasis en esta etapa es **medir** los beneficios y costos identificados en la etapa de perfil.

Es necesario estudiar con especial atención el análisis de factibilidad, es decir analizar los aspectos de mercado, la tecnología, el tamaño, la localización y las condiciones de orden institucional y legal relevantes para el proyecto.

Conviene plantear el análisis en términos puramente técnicos, para después seguir con los económicos. Ambos análisis permiten calificar las alternativas u opciones del proyecto y, como consecuencia de ello, elegir la que resulte más conveniente en relación a las condiciones existentes.

La realización del estudio de mercado es la base para estimar los ingresos que generará el proyecto. Procede aquí un análisis de

demanda, o sea, proyectar cuánto será la demanda del bien o servicio que el proyecto proveerá, otro de oferta para conocer la cantidad ofrecida por los demás oferentes, y un tercer análisis, de las condiciones de precios y comercialización.

El análisis tecnológico, que incluye las variables equipos, materias primas, procesos y servicios tecnológicos, u otros, permite determinar los costos asociados al proyecto. Entre estos sobresalen los costos de inversión y de capital de trabajo. Conviene poner énfasis en el hecho que las variables de la tecnología aplicada al proyecto se interrelacionan, de modo que, optar por un proceso o un equipo particular exige disponer de servicio técnico y de los insumos apropiados.

Respecto de los elementos condicionantes del tamaño y la localización del proyecto cabe señalar, entre otros, su naturaleza (construir, reponer, ampliar y modificar una empresa o establecimiento), la enumeración y localización de los insumos, de los centros de distribución y consumo, y los efectos del proyecto sobre el medio ambiente.

Los aspectos institucionales y legales afectan también a la naturaleza del proyecto. Mediante el análisis administrativo legal es posible determinar los costos fijos asociados a la operación del proyecto. En su elaboración conviene determinar la organización que se dará a los factores que lo constituyen, poniendo énfasis en las características del personal requerido y en el esquema organizacional pertinente. Asimismo, es recomendable estudiar las características jurídicas de la unidad de gestión que manejará el proyecto y también la legislación vigente aplicable al proyecto, en temas específicos como por ejemplo, en materia de contaminación ambiental y eliminación de desechos.

Los análisis anteriormente señalados son interdependientes entre sí: uno condiciona al otro y viceversa. Una vez determinados, permiten efectuar estimaciones de los montos de inversión, costos de operación y de los ingresos que generaría el proyecto du-

rante su vida útil. Con tales antecedentes se lo evalúa desde un punto de vista económico, determinando así la rentabilidad de cada una de las alternativas seleccionadas en la etapa de perfil. Se establece así cuáles merecen un estudio más profundo y cuáles se descartan.

Conviene sensibilizar los resultados de la evaluación, especialmente respecto de las variables que inciden directamente en la rentabilidad de las alternativas consideradas más favorables.

Según los resultados de la evaluación del proyecto, en esta etapa se recomienda ejecutar el proyecto, postergarlo, abandonarlo definitivamente o continuar su estudio. En este último caso, se debe hacer explícitos todos los aspectos que se estima conveniente abordar en la etapa de factibilidad.

## **Estudio de factibilidad**

El estudio de factibilidad debe enfocarse hacia el examen detallado y preciso de la alternativa que se ha considerado más viable en la etapa anterior; es decir; poner el esfuerzo en medir y valorar en la forma más precisa posible sus beneficios y costos. Dado que para ello se requiere utilizar bastantes recursos, los proyectos que llegan a esta etapa son sólo aquellos sobre los que no hay dudas acerca de su rentabilidad positiva. Se debe profundizar el análisis y el estudio de las variables que inciden en el proyecto y además minimizar la variación esperada de sus costos y beneficios. Como se piensa llevarlos a cabo, en esta etapa toman importancia los flujos financieros y la programación de las obras.

Una vez que el proyecto ha sido caracterizado y definido, debe ser optimizado. Por optimización se entiende la inclusión de todos los aspectos relacionados con la obra física (tamaño, localización), con el programa de desembolsos de inversión (momento óptimo), y con la organización adecuada para

la construcción, puesta en marcha y operación del proyecto.

En relación a los aspectos referidos a la obra física cabe mencionar el proceso de producción, los tipos de insumos y la tecnología que se empleará, distancia desde los centros de abastecimiento de insumos y hacia los de consumo, etc.

En la determinación del calendario de desembolsos para la inversión, hay que considerar factores tales como las condiciones financieras y de los mercados de capitales, tanto internos como externos, el anteproyecto de ingeniería, la disponibilidad de equipos y posibilidades de obtenerlos, las obras auxiliares y complementarias, el efecto de dificultades técnicas, el entrenamiento del personal de operación y de mantenimiento y las etapas parciales de puesta en servicio.

El análisis de la organización que se requiere crear para la implementación del proyecto debe considerar factores como el tamaño de la obra física, la capacidad empresarial y financiera del inversionista, el nivel técnico y administrativo que su operación requiere y las fuentes y los plazos para el financiamiento.

Con la etapa de factibilidad finaliza el proceso de aproximaciones sucesivas en la formulación y preparación de proyectos, proceso en el cual tiene importancia significativa la secuencia de afinamiento y análisis de la información.

El informe de factibilidad es la culminación de la formulación de un proyecto, y constituye la base de la decisión respecto a su ejecución. Sirve a quienes promueven el proyecto, a las instituciones financieras y a los responsables de la implementación económica global, regional y sectorial.

## Estado de inversión

En este estado se realizan todas las acciones tendientes a ejecutar físicamente el proyecto o programa tal como fue especifi-

cado en la preinversión, a fin de concretar los beneficios netos estimados en la misma.

En este estado se distinguen dos etapas principales: la etapa de diseño y la de ejecución.

## Diseño

En esta etapa se requiere elaborar la configuración de las características de arquitectura y de ingeniería, ajustar detalles finales previos a la ejecución tales como disponibilidad y características del terreno o áreas de influencia con el objeto de reducir los riesgos inherentes a todo proyecto de inversión.

## Ejecución

En esta etapa corresponde la ejecución física del programa o proyecto, es decir, la construcción del bien capital definido en el estudio del proyecto.

## Estado de operación

Consiste en poner en marcha los proyectos y concretar los beneficios netos y estimados en el estado de preinversión.

## Bibliografía

ABARZUA E., Lester y otros, "*Centro Integral de Desarrollo Comunitario*". CLAPEP 87. Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Economía, Santiago de Chile, 1987.

CORTES, Hernán, Holigue Ana., e Iglesias, Augusto, "*Economía: Principios y Problemas*". Ediciones Universidad Católica de Chile, Colección Teleduc (Santiago de Chile, marzo 1982).

FONTAINE, Ernesto R., "*Evaluación Social de Proyectos*". Edición Pontificia Universidad Católica

de Chile, 5º Edición (Santiago de Chile, marzo 1989).

FONTAINE, Ernesto R., "*Los precios sociales y las políticas de asignación de recursos*". Publicación B-87 Programa MEIC-BID (noviembre, 1974).

FONTAINE, Ernesto R., Seminario "*Un nuevo modelo económico para el desarrollo de Honduras*". No publicado (Tegucigalpa, abril 1989).

MARTIN, Daniel F., "*Metodología para el planteamiento integral de un Sistema Nacional de Proyectos*". O.E.A., diciembre, 1979 (mimeo).

MUJICA R., Rozas, María del P., Torche, Arístides. y Zapata, Juan A., "*Metodología de Evalua-*

*ción y Análisis de Programas para la erradicación de la Extrema Pobreza Urbana*". Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Economía (Santiago de Chile, 1989).

ODEPLAN (Oficina de Planificación Nacional) "*Sistema Nacional de Inversión*". Documento en preparación (Santiago, octubre 1989).

ODEPLAN, (Oficina de Planificación Nacional), "*Preparación y Presentación de Proyectos de Inversión*". (Santiago, agosto 1975).

SAPAG Ch., Nassir y Reinaldo "*Preparación y Evaluación de Proyectos*". 2ª Edición. Mc Graw Hill 1990.

# 1. Proceso de inversión en una economía social de mercado

## Fundamentos teóricos del proceso de inversión

Inversión es aquel aumento en el stock de capital que permite expandir las posibilidades de "producción", y en definitiva de "ingreso" de la sociedad. En consideración a que un mayor ingreso neto permitirá mejorar el bienestar de la comunidad por cuanto se logrará un mejor nivel de vida, se puede decir que la inversión tiene relevancia indiscutida en el desarrollo socioeconómico de ella y por ende de una nación.

Alternativamente la inversión es el uso productivo de bienes y servicios dejados de consumir en el presente para lograr una mayor producción futura. De esto se puede inferir que la generación futura de bienes y servicios depende de la magnitud de la capacidad de ahorro (interno y externo), o sea sacrificio de consumo presente (ahorro interno) o futuro (ahorro externo).

Al situarse dentro del contexto de los países en vías de desarrollo, donde los recursos son limitados y las posibilidades de alterar los hábitos de ahorro de la generalidad de la población es difícil, el crecimiento

vía cantidad de recursos invertidos sería muy bajo.

Sin embargo, el esfuerzo y sacrificio necesarios para incrementar la rentabilidad de la inversión son claramente menores: la rentabilidad promedio de la inversión nacional se puede incrementar evitando que se realicen aquellas con rentabilidad negativa y que rindan menos que un valor deseado, es decir, eligiendo proyectos de mejor calidad, para de esta forma, conseguir una mejor asignación de recursos.

El problema de la óptima asignación de recursos no queda totalmente resuelto al fijarse como política de inversión la de asignar los recursos a las mejores oportunidades de inversión. Esta política requiere estar inserta en un programa económico que dé las condiciones propicias para el éxito de ella. Principalmente debe haber una armonía entre las políticas cambiaria, arancelaria, de precios, tributaria y de remuneraciones, de manera que la economía dé señales correctas para tomar decisiones de inversión.

En una economía social de mercado, las orientaciones de política de inversión, están guiadas por el propósito último de contri-

buir a alcanzar un acelerado desarrollo económico utilizando el mercado para asignar eficientemente los recursos de capital. Se estima que con un régimen de economía de mercado, es factible obtener sustanciales tasas de crecimiento a la vez que importantes mejoramientos en el nivel de vida de la comunidad, porque es posible lograr una mejor asignación y utilización de los recursos. Así, la existencia de precios determinados libremente por la competencia, tanto de productores como de consumidores, refleja la escasez relativa de los bienes, permitiendo asignar recursos hacia aquellas áreas en que la productividad es mayor. Por otra parte, la economía de mercado otorga incentivos que se asocian con una de las características básicas del ser humano, cual es su capacidad y voluntad de obtener para él y su familia un destino mejor, a través de los cuales es posible generar una alta productividad en el trabajo e inducir a una elevada propensión al ahorro y a la inversión, que permiten sentar las bases de una mayor disponibilidad de bienes y servicios.

Dado lo expuesto, y aceptando como propósito fundamental que la política de inversión debe manifestarse en una gestión inversionista eficiente, entendiendo por tal aquella que permita generar una corriente de bienes y servicios con un valor superior al monto de los recursos que compromete, un primer elemento definitorio de dicha política reside en una distinción entre la inversión privada de aquella realizada directa o indirectamente por el Sector Público.

En lo que se refiere a la inversión privada, se logrará una eficiente asignación de los recursos, en la medida que las políticas cambiaria, crediticia, arancelaria, monetaria y de remuneraciones, logren hacer prevalecer precios que reflejen la real escasez relativa de los recursos que demandan los inversionistas. Esto, condicionado a que los proyectos que se aborden no sean de una magnitud tal o no estén colocados en una posición estratégica que les permita generar elementos de control monopólico sobre las va-

riables del mercado. Además, en los casos que el objetivo de la inversión privada sea simplemente el de aumentar en forma generalizada los bienes y servicios disponibles sino que se persigan otros, derivados de condiciones específicas particulares, las variables de políticas impulsoras de la inversión privada tendrán que ser orientadas por otras instancias.

En lo que respecta a la inversión pública, no parece adecuado ni posible descansar exclusivamente en los estímulos generados por el mercado. Entre las razones que lo justifican, puede aducirse:

- La magnitud propia de las inversiones que el Sector Público emprende, las que en países pequeños normalmente alteran la relación de escasez relativa de los factores productivos.
- El hecho de que habitualmente se comprometan recursos de magnitud apreciable en servicios que muy difícilmente pueden medirse en términos económicos (defensa, administración, orden interno, etc.)
- Los mecanismos de control que el Sector Público maneja, le permiten presentar muy fácilmente con éxito las malas inversiones, o en algunos casos mantenerlas operantes a pesar de sus resultados negativos.
- Tradicionalmente al Sector Público le ha correspondido desarrollar nuevas actividades (industrias incipientes) con el argumento de que es éste quién debe afrontar los costos de llevarlas a un nivel competitivo.

Además de las consideraciones anteriores, existe el problema de la baja eficiencia de las actividades del sector estatal y en consecuencia de su gestión inversionista. Se afirma, con razón que el Estado es ineficiente como inversionista. Ello obedece fundamentalmente a problemas de deficiencia administrativa, falta de dirección técnica, consideración parcial de los problemas por resolver con la inversión estatal, desacuer-

dos inter o intrainstitucionales, falta de criterios técnicos en la calificación de inversiones, etc.

En consecuencia, es deseable una racionalización y una mayor eficiencia en la gestión inversionista del Sector Público. Para esto se hace necesario que el Estado cuente con un Proceso de Inversión Pública basado en los siguientes criterios generales:

- Asignar los recursos proyecto a proyecto, en base a criterios técnico-económicos, con el objeto de promover las inversiones que acrecienten el bienestar general de la comunidad.
- Normalizar la actividad de formulación, preparación y evaluación de proyectos específicos de inversión de las entidades públicas.
- Administrar eficientemente el proceso de inversión pública, para lo cual es deseable disponer de cuadros técnicos de similar nivel a los del sector privado y con una continuidad que permita mantener la experiencia de dichos cuadros por períodos largos.
- Ausencia de presiones políticas, intereses personales e institucionales.

Por otra parte, una política de inversiones que pretenda una eficiente asignación de los recursos de capital, implica que debe procederse a una valoración de los factores productivos o insumos principales a un nivel tal que reflejen su escasez real relativa en la economía, como sería si no existieran elementos distorsionadores en el mercado (diferentes grados de monopolio, desempleo, indivisibilidades importantes etc.).

Desde un punto de vista técnico, esta valoración de los factores productivos o insumos intermedios en consonancia con su real escasez relativa, se logra a través de la cuantificación de los precios sociales.

De esta forma, para el stock de inversiones potenciales detectadas en los diferentes sectores de la economía, se debería decidir su materialización a través de una evaluación económica, debiendo impulsarse todas

aquellas cuya rentabilidad económica supere a la productividad social marginal del capital.

En la práctica, para lograr decisiones de inversión de acuerdo con estos criterios, los Gobiernos deben orientar la economía del país de manera tal que, por un lado el sector privado tome las decisiones de inversión libremente pero en la dirección correcta, para esto, lo esencial es crear una estructura de precios eficaz, de modo que los precios de los bienes y servicios reflejen los costos reales de producción y se transformen en efectivas señales orientadoras de la actividad económica.

Por otro lado, para la inversión pública se deben crear las bases y las condiciones para el desarrollo de un proceso de inversión fundado en la asignación de recursos por proyectos específicos y de acuerdo a una previa evaluación socioeconómica.

Este proceso se denomina Sistema Nacional de Inversión Pública y corresponde a un proceso de transformación de ideas de inversión, desde su identificación hasta su operación. En este proceso de transformación se utilizan recursos que van agregando valor a dichas ideas, revelando su potencialidad y facilitando la toma de decisiones sobre su futuro y conveniencia.

## Sistema nacional de inversión pública. Su justificación

El objetivo fundamental de un sistema de inversión pública consiste en poder concretar las opciones de inversión más rentables desde el punto de vista económico y social, según los lineamientos de la política de Gobierno.

Para el logro de este objetivo, el Sistema Nacional de Inversión (S.N.I.) implementa relaciones de interdependencia y coordinación entre las entidades operativas (Servicios) de nivel Nacional y Regional, que con-

duzcan esencialmente a la orientación y racionalización de su capacidad inversionista.

Es así como se deben desarrollar y difundir procedimientos metodológicos, normas y sistemas de información uniformes para la formulación, preparación y evaluación de proyectos, de manera que la selección de las mejores opciones de inversión sea realizada en forma generalizada y homogénea por todo el Sector Público.

Por otra parte, se deben crear niveles de conducción y coordinación del proceso de inversión, de manera de facilitar la vinculación entre diferentes entidades relacionadas con la formulación, ejecución y operación de proyectos y además posibilitar la vinculación práctica entre las diversas instituciones que cumplen distintas funciones de Gobierno y que pudieran estar descentralizadas territorialmente.

El S.N.I. debe abarcar en su integridad el proceso de inversión a través del cual los proyectos van evolucionando desde su identificación hasta que entran en operación. Esto implica un flujo permanente de proyectos con distintos grados de elaboración, de manera que continuamente se estará identificando, formulando, evaluando y ejecutando aquellos proyectos que se ajusten al rol asignado al Estado y que, dentro de ese marco de referencia, presenten las mayores rentabilidades sociales.

En el proceso de inversión es posible encontrar proyectos que están apenas a nivel de idea y que requieren aún de un largo trabajo para madurar, otros estarán en estudio a distintos niveles de profundidad; otros, en diseño de detalle para ser ejecutados; otros habrán sido postergados, modificados o abandonados; otros estarán en ejecución y finalmente, otros ya terminados, estarán en operación y por tanto estarán produciendo bienes o servicios a través de los cuales satisfacen necesidades de la comunidad.

En consecuencia, en el proceso de transformación de las ideas de inversión, es posible identificar tres estados sucesivos en la vida de todo proyecto que se materializa :

**Preinversión:** Consiste en identificar ideas de inversión, formular, evaluar y seleccionar los proyectos más rentables desde el punto de vista económico social. Es el estado, en el que se dan todos los elementos necesarios y suficientes para la toma de decisiones.

**Inversión:** Consiste en ejecutar físicamente los proyectos seleccionados y priorizados en la preinversión.

**Operación:** Consiste en poner en marcha los proyectos y generar los beneficios netos estimados en el estado de preinversión.

El paso de los proyectos a través de la Preinversión, Inversión y Operación conforma el Ciclo de Vida de los Proyectos. (Ver Figura N° 1.1).

El impacto de los proyectos en los niveles de producción de bienes o prestación de servicios, depende del estado en que se encuentren en el ciclo de vida. En primer término, durante la preinversión (estudio), no existen efectos de importancia sobre oferta o demanda agregada de bienes.

Durante la inversión, se producen efectos en la demanda agregada (desplaza recursos desde proyectos alternativos).

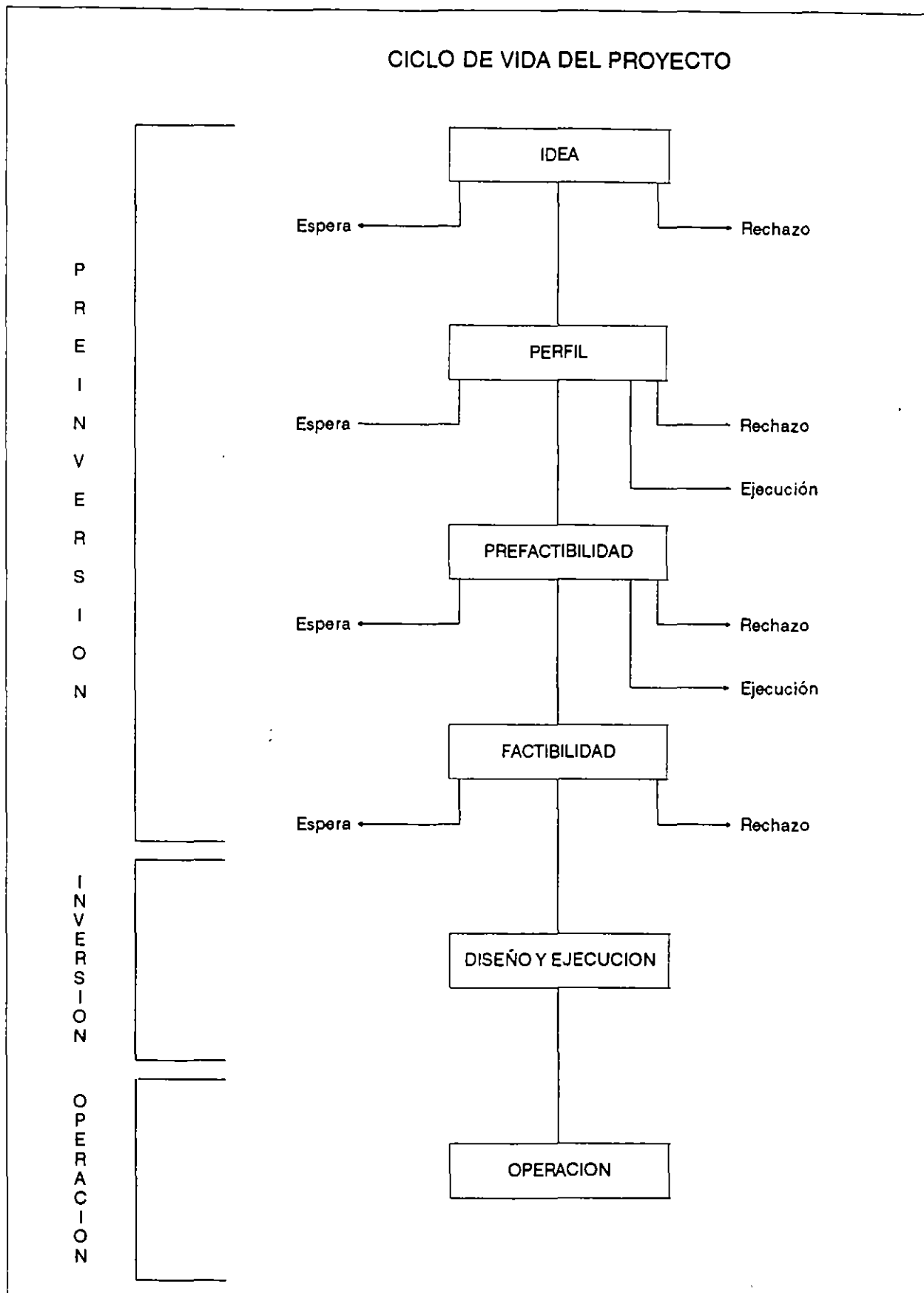
Finalmente la operación del proyecto, dentro de las interrelaciones del sistema económico, puede producir efectos tanto a través de la demanda como de la oferta agregada.

Esta diferencia de efectos de los proyectos, durante los estados que alcanzan en su vida, es lo que da lugar a los conceptos de período de maduración de la preinversión y de la inversión. El impacto de los proyectos sobre la disponibilidad de bienes y servicios se incrementa a medida que se acercan al estado de operación.

Si a lo anterior se agrega que los recursos de preinversión son escasos, el costo social de mejorar, postergar o rechazar ideas de inversión en proyectos, programas o estudios básicos será menor si tal decisión se toma en las etapas más tempranas del ciclo, con lo que se estará contribuyendo efectivamente al logro de los objetivos de la política



Figura N° 1.1



de uso eficiente de los recursos.

Además para lograr los mismos objetivos de eficiencia se debe tener en cuenta la indivisibilidad, separabilidad, sustituibilidad y complementariedad de los proyectos; se debe eliminar la posibilidad de presentar como proyectos separados partes de un mismo proyecto indivisible o de presentar en forma separada proyectos complementarios, pues se afectan mutuamente de manera positiva, de lo contrario, no se aprovechan al máximo sus capacidades de generación de beneficios o se abandonan tardíamente proyectos que son sustitutos.

Por lo tanto, la existencia de un sistema de inversiones, que permita un seguimiento de los proyectos a través de su ciclo es un instrumento básico para mejorar la toma de decisiones de inversión pública.

A partir de los conceptos que surgen del proceso de transformación de las ideas de inversión o ciclo de los proyectos, es posible explicitar las distintas *etapas* por las que pasa un proyecto desde que se identifica hasta que entra en operación (Ver Figura N° 1.1).

Por etapa se entenderá el grado de madurez o nivel de detalle y complejidad que debe tener la información relativa de un proyecto para la toma de decisiones, que puede consistir en el paso del proyecto a otra etapa más avanzada; paralización temporal del proyecto en la etapa alcanzada, o abandono definitivo del proyecto.

De acuerdo a esto, en la preinversión las etapas configuran niveles de los estudios, a través de los cuales por sucesivas aproximaciones se va precisando el problema por resolver, los bienes o servicios que pueden satisfacer las necesidades identificadas, las alternativas técnicas para ejecutar y operar el proyecto y sus respectivos costos y beneficios. Se trata, en consecuencia de un proceso gradual de compra de certidumbre en el cual en ningún caso los costos incurridos en obtener certidumbre adicional deberían superar los beneficios derivados de la misma. Este principio de economicidad es válido para todas las etapas y junto con el proceso

de toma de decisiones reafirman el planteamiento secuencial del proyecto.

Sobre esta base se consideran las siguientes etapas en los estados de preinversión e inversión de un proyecto.

**Etapa de Idea:** Está asociada a la identificación del proyecto, y consiste en identificar la necesidad insatisfecha o problema por resolver, el conjunto de posibles beneficios y su localización geográfica, y los objetivos que en relación con esos beneficios se espera alcanzar con el proyecto.

**Etapa de Perfil:** En esta etapa se incorpora información adicional y se precisa aquella proveniente del nivel anterior. La información adicional debe referirse a: cuantificación preliminar del mercado y tamaño del proyecto a partir de la información disponible; un análisis preliminar de alternativas técnicas, una estimación de montos de inversión por ítem (terreno, inversión principal, obras auxiliares y equipamiento), costo anual de operación promedio, etc. Es útil. En base a la información anterior debe hacer una evaluación preliminar del proyecto.

**Etapa de Prefactibilidad:** En esta etapa se precisa con mayor detalle la información proveniente de los niveles anteriores y se incorporan datos adicionales para permitir descartar ciertas alternativas y perfeccionar las restantes. Para cada una de las alternativas se hará evaluaciones económicas y técnicas, con el propósito de identificar aquellas que resultan promisorias y descartar las restantes.

**Etapa de Factibilidad:** Consiste en perfeccionar la alternativa que haya resultado con mayor valor actual neto (VAN) positivo en la etapa de prefactibilidad, reduciendo su rango de incertidumbre a límites aceptables.

**Etapa de Diseño Definitivo:** En esta etapa se debe elaborar el diseño de ingeniería y/o arquitectura, ajustar detalles finales relativos a la ejecución (disponibilidad y características del terreno o área de influencia), y las bases para la contratación de las obras.

**Etapas de Inversión:** Todas las acciones tendientes a ejecutar físicamente el proyecto tal y como fue especificado en la preinversión, a fin de concretar en la operación del mismo los beneficios netos estimados.

El desarrollo secuencial de las etapas de preinversión constituye la formulación del proyecto asociado con un proceso de toma de decisiones.

La finalidad del proceso de formulación de un proyecto, es aportar elementos de juicio para tomar decisiones sobre su estudio, ejecución o sobre el apoyo que se debiera prestar a su realización.

Concibiendo entonces la inversión pública como un proceso continuo, se pone de manifiesto que así como la magnitud y características de la inversión actual depende del esfuerzo pasado en preinversión, el nivel y estructura de la inversión futura y su com-

patibilidad con la política de Gobierno dependerá de la posibilidad de programar el proceso de inversión desde las etapas más tempranas del mismo.

En consecuencia, el S.N.I. centra gran parte de sus esfuerzos de normalización, coordinación y programación en el estado de preinversión de los proyectos. Las labores de programación y coordinación, para ser efectivas, deben iniciarse desde la fase en que se identifican los proyectos de inversión y seguirlos durante todo su ciclo. De esta manera, será posible mejorar la asignación de recursos de preinversión, otorgar funciones de decisión, planificación y ejecución a los niveles pertinentes y asegurar la coherencia entre la futura inversión, la situación financiera del sector público y la política económica y social del Gobierno.

## 2. Descripción general de un sistema nacional de inversión

El análisis de proyectos específicos o de etapas aisladas de un proyecto es un elemento necesario, pero no suficiente para lograr una visión y tratamiento integral del proceso de inversión pública. El análisis de proyectos específicos debe complementarse con un tratamiento sistematizado e integral del proceso de inversión pública, a efectos de asegurar la consistencia entre este proceso y otras variables de nivel nacional, sectorial o regional.

Por lo general, los programas de nivel nacional, los lineamientos de la política de Gobierno, el análisis financiero y presupuestario del sector público y otros aspectos de similar naturaleza, corresponden conceptualmente a un nivel de agregación con un horizonte temporal de mediano o largo plazo y una visión del país en su conjunto.

Por el contrario, los Ministerios e instituciones inversoras sólo consideran variables microeconómicas y de corto plazo (y a veces sólo de plazo presupuestario) y con una visión restringida a sus propias acciones.

En consideración a lo expuesto, se estima conveniente la participación en el S.N.I. de entidades distintas a las ejecutoras, de modo que se establezca una suerte de equi-

librio entre los intereses particulares de cada unidad inversora (Ministerio, Empresa, etc.) y los intereses del país en su conjunto. Estas entidades deben ser las encargadas de administrar el Sistema, de elaborar las normas, establecer los procedimientos y dar las orientaciones necesarias para que el proceso de toma de decisiones se enmarque en las políticas de gobierno y las posibilidades financieras del país. A su vez, estas entidades conductoras del Sistema de Inversión se deben apoyar en unidades especializadas que deben existir en los Ministerios y demás organismos que ejecutan proyectos. Estas unidades deben tener una visión integral del proceso en sus respectivos ámbitos geográficos y una dedicación exclusiva a labores de promoción, coordinación, normatización metodológica y seguimiento de las actividades de preinversión.

En consecuencia, la estructura operativa (Figura N° 2.1) y el funcionamiento del Sistema Nacional de Inversión debe ser tal, que todas las acciones y decisiones de inversión que se adopten en los distintos niveles, estén orientadas al logro del objetivo fundamental que es mejorar la asignación de recursos públicos, dentro de los lineamientos

económicos y sociales del Gobierno.

En este esquema se pueden distinguir dos bloques de actividades que son realizadas por organismos distintos y que tienen objetivos diferentes.

Se puede observar que el bloque superior (Nº1) corresponde al ciclo de un proyecto completo; es así como a este bloque entran las ideas de proyecto que nacen de toda la comunidad, se transforman, y salen como proyectos en operación que generan beneficios que satisfacen las necesidades originales de éstas.

Cada uno de los cuadrados interiores de este bloque (Nº1) representa una etapa del ciclo de un proyecto; para que una idea de proyecto se concrete, debe en términos generales seguir esa secuencia de desarrollo. Todo este proceso de transformación es responsabilidad de las unidades ejecutoras, sin embargo, para avanzar de una etapa del proyecto a otra, estas unidades requieren recursos financieros, los cuales son provistos por una entidad externa. Ella a su vez debe exigir una identificación de cada proyecto, el que debe contar con la recomendación técnico-económica de un organismo técnico

asesor también externo a la entidad inversora.

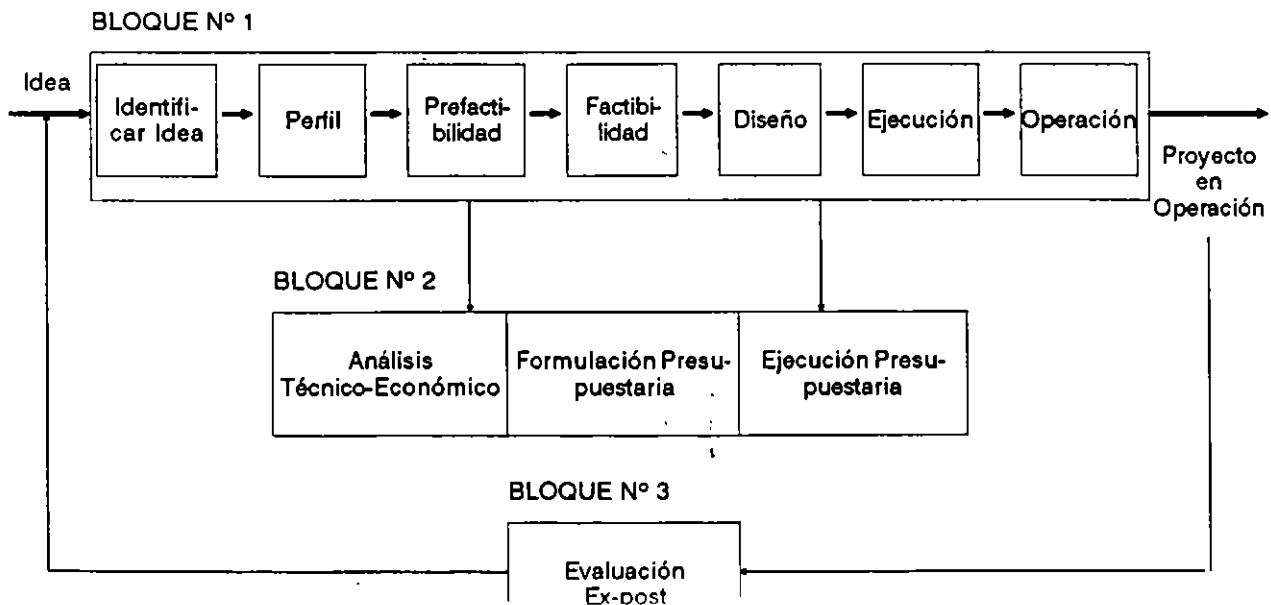
De esta manera en cada una de las etapas se produce la participación activa de las entidades conductoras del proceso y la vinculación con la toma de decisiones.

El bloque inferior Nº 2 corresponde a un conjunto de tres subsistemas que conforman las instancias que un proyecto debe cumplir para que esté en condiciones de superar una etapa. Los subsistemas son : Análisis Técnico-Económico, Formulación Presupuestaria y Ejecución Presupuestaria.

El subsistema de análisis técnico-económico corresponde a la parte del proceso, en que la unidad ejecutora presenta a una unidad técnica independiente, todos los antecedentes del proyecto, de acuerdo a ciertas normas, para que los analice y emita su opinión sobre la conveniencia de continuar o iniciar una nueva etapa del proyecto.

El subsistema Formulación Presupuestaria corresponde al conjunto de acciones que permiten que una unidad ejecutora disponga de los recursos financieros necesarios para continuar o iniciar una nueva etapa del ciclo.

Figura Nº 2.1  
ESTRUCTURA OPERATIVA DEL S.N.I.



El subsistema Ejecución Presupuestaria corresponde al seguimiento físico-financiero que se efectúa para cada proyecto al cual se le ha asignado recursos financieros.

Es en estas instancias donde se incorpora al análisis del proyecto la visión general del proceso, así como los lineamientos de política y análisis financiero general del país.

Como ya se ha dicho, este proceso es continuo y en un momento del tiempo se encontrarán muchos proyectos que estarán en distinto grado de madurez; sin embargo, para efectos de presentación del funcionamiento general del sistema se supone un proyecto que se incorpora al S.N.I. en la etapa de idea y debe cumplir con todas las etapas del proceso.

Tal como ya se dijo las ideas de proyecto tienen su origen en problemas o necesidades de la comunidad, éstas son recogidas por las autoridades locales o regionales o bien directamente por los niveles Regionales o Provinciales de las unidades ejecutoras (Ministerios, Servicios, etc.).

Si se estima que la idea de proyecto es interesante, la misma unidad ejecutora procederá a su identificación. Haciendo un paralelo con el esquema operativo, esta etapa corresponde al primer cuadrado interior del bloque N° 1.

La realización de la etapa de identificación se lleva a cabo con recursos de operación del Servicio correspondiente; por lo tanto, no es necesario solicitarlos, lo que significa no someter la idea del proyecto a las instancias indicadas en el bloque N° 2 del esquema operativo.

Es así como la identificación de la idea se realiza internamente en el Servicio y consiste en realizar una primera prueba de su viabilidad, considerando un número mínimo de elementos que ayuden a tomar una decisión de aceptarla o rechazarla.

La aceptación implica que, como resultado de un primer examen de tamaño, demanda, disponibilidad de insumos, tecnología, monto de inversión, y marco institucional y de política, no surge dato alguno que ponga

en duda la viabilidad de la idea.

La aceptación de la idea no significa automáticamente su paso a la etapa siguiente (perfil); puede suceder que por razones que deben considerarse en cada situación, se decida aplazar la continuación del estudio y crear una "reserva" de ideas cuya factibilidad inicial haya sido demostrada. Esta "reserva" de ideas es la base de una adecuada programación de la preinversión: mientras más ideas existan en este estado, mejor será el proceso de selección de éstas para continuar con sus estudios posteriores; además, aumenta la seguridad de que se están realizando las inversiones más rentables.

En el caso de rechazo, esta decisión puede conducir al abandono de la idea, pero también puede llevar a reemplazarla por otra relacionada o que se derive de ella.

Si junto con aceptar la idea se decide continuar a la etapa siguiente que correspondería al perfil, significa continuar invirtiendo recursos en la formulación del proyecto.

Esta decisión también depende sólo del organismo ejecutor; y por lo general la etapa de perfil también se financia con recursos de operación del Servicio.

La etapa de perfil consiste en realizar un estudio donde se expliciten todas las alternativas y se analice el grado de viabilidad técnica de cada una. Se debe efectuar una evaluación preliminar de las alternativas técnicamente factibles, además de identificar y explicitar aquellos aspectos económicos (costos y beneficios), técnicos, institucionales, de organización y de política que necesitan análisis especial en las etapas siguientes.

Dependiendo de los resultados del estudio a nivel de perfil, el organismo ejecutor tendrá varias opciones que son: abandonar el proyecto o continuar desarrollándolo; si continúa, se deberá decidir sobre la utilización de recursos adicionales para realizar estudios más profundos o diseñar en forma definitiva la ejecución de la mejor alternativa.

Si se decide continuar con estudios de preinversión más profundos, significa que la formulación del proyecto no entrega aún antecedentes suficientes como para optar por alguna alternativa y proceder inmediatamente al diseño.

En esta etapa de la formulación del proyecto y a medida que se avance a las etapas siguientes (prefactibilidad y factibilidad), cobra cada vez mayor importancia el costo de los estudios, ya que a medida que se avanza y se consigue mayor certidumbre en los resultados, los incrementos de certidumbre se hacen cada vez más costosos. Esto es especialmente notorio una vez concluido el nivel de prefactibilidad, punto desde el cual la reducción del nivel de incertidumbre se va haciendo cada vez menor hasta alcanzar asintóticamente el umbral de lo previsible, mientras que los costos de reducción crecen fuertemente hasta alcanzar el máximo durante los trabajos de ingeniería de detalle.

Además de los costos de los estudios para la decisión de continuar o no con las etapas de preinversión, siempre se debe tener presente el monto de la inversión involucrada y la experiencia que tiene el organismo ejecutor respecto al tipo de obra que se está analizando como alternativa técnica.

Si se trata de un monto de inversión bajo y además de una alternativa técnica ejecutada en forma rutinaria, es probable que de la etapa de perfil se pueda pasar a la etapa de diseño; sin embargo, si se trata de un monto de inversión alto y de una elevada complejidad técnica, lo recomendable es invertir recursos en estudios más profundos como prefactibilidad y en algunos casos, hasta factibilidad.

Es importante señalar que los aspectos que se analizan, tanto en estudios de prefactibilidad como en los de factibilidad, son los mismos que en el perfil, existiendo diferencia únicamente en los niveles de profundidad con que se analiza el tema y la calidad de la información utilizada.

Para avanzar de una etapa a otra a partir de la etapa de perfil, el organismo inversor debe solicitar recursos financieros adicionales específicos para el proyecto; por lo tanto, debe cumplir con las instancias de los subsistemas : Análisis Técnico-Económico, Formulación Presupuestaria y Ejecución Presupuestaria, representadas por el bloque N° 2 del esquema operativo.

La decisión de avanzar de una etapa a otra sigue siendo del organismo ejecutor, pero está de alguna manera complementada con las observaciones y orientaciones que aporta especialmente el organismo técnico asesor, que es el encargado de la revisión y recomendación de los proyectos.

Para que el organismo ejecutor obtenga los recursos financieros que necesita para continuar con el desarrollo de la etapa siguiente, debe realizar una presentación de acuerdo a las normas y procedimientos del Subsistema de Análisis Técnico-Económico. Una vez obtenida la aprobación técnico-económica, está en condiciones de solicitar los recursos financieros. El organismo encargado de la Formulación Presupuestaria analiza dicha petición y si cumple con todos los requisitos, asigna los recursos requeridos. La unidad ejecutora debe gastar estos recursos en este proyecto y no en otro, para lo cual se confecciona un programa de gastos para el año, que sirve como base para el seguimiento físico-financiero que realiza el mismo organismo que otorga los recursos financieros (Subsistema Ejecución Presupuestaria).

Un aspecto importante respecto a la ejecución de los estudios u obras es el mecanismo que establece el S.N.I., que indica que ésta debe ejecutarse con la participación de terceros por Licitación Pública. Ello significa que las unidades inversoras son las responsables financieras y técnicas, pero no son ellas quienes ejecutan, quedando esto en manos de los privados, organizados en Empresas Consultoras para estudios y en Empresas Constructoras para obras.

La unidad ejecutora debe llamar a Licitación Pública<sup>1</sup> que consiste en un concurso donde pueden participar todas las empresas que lo deseen y cumplan con las exigencias de tipo económicas, administrativas y técnicas que se determinan de acuerdo a la complejidad y tipo de estudio u obra que se desea ejecutar.

Esta licitación debe ser transparente e informada de modo de lograr la máxima similitud a un mercado competitivo con el objeto que en el costo de los proyectos se reflejen los precios de mercado reales de los insumos.

Si se observa el esquema operativo del S.N.I., se aprecia que entre etapa y etapa existe un proceso de decisión sobre la continuación o abandono del proyecto. Ya se explicó que el paso de la Identificación de la Idea a Perfil es una decisión exclusiva de la unidad ejecutora; en cambio, el paso de Perfil a Prefactibilidad es una decisión también de la unidad ejecutora, pero acompañada de las orientaciones que pudiesen surgir del análisis realizado por los subsistemas que conforman el bloque N° 2 (Análisis Técnico Económico y Formulación Presupuestaria). Lo mismo es válido para el paso de Prefactibilidad a Factibilidad y de Factibilidad a Diseño.

En la secuencia de transformación de la idea, por lo general, avanzar de la etapa de Factibilidad a Diseño requiere de la decisión definitiva de realizar la inversión total, ya que esta etapa supone una inversión fuerte y un incremento menos que proporcional al grado de certidumbre; por lo tanto, parece lógico tomar esta decisión justamente antes de iniciar dicha etapa. Por esta razón se dice que la etapa de Diseño es parte del estado de Inversión. Existen casos especiales en los cuales es conveniente recomendar sólo el diseño; posteriormente, con los antecedentes aportados por éste, en especial el recálculo de los costos definitivos, se recomiendan las obras.

El objetivo de la etapa de Diseño es elaborar el diseño de arquitectura y/o ingeniería que servirá para recalcular el costo definitivo de la obra a partir de su cubicación y elaborar las Bases Generales y Específicas para la contratación de las obras.

Una vez decidida la ejecución de las obras, la unidad ejecutora procede a concretarlas dentro de los plazos y costos determinados en el estado de preinversión. Concluida la ejecución, la unidad ejecutora debe decidir sobre la utilización de recursos presupuestarios de operación para la puesta en marcha y operación del proyecto, con el propósito que éste entre a producir bienes o prestar servicios.

Es en esta etapa de Operación donde se producen los beneficios del proyecto. Dependiendo de cuán aproximada sea a la realidad la proyección de los beneficios y costos realizada en los estudios de preinversión, se confirmará la rentabilidad prevista para el proyecto.

La calidad y pertinencia de los estudios y análisis de preinversión determinan en gran parte el éxito o el fracaso final de los proyectos, siempre que no se produzcan serias deficiencias en las fases de la Ejecución y Operación.

En resumen, si el proyecto fue bien formulado, con la operación del proyecto se debe solucionar el problema o necesidad de la comunidad que dió origen al proyecto.

La manera de comprobar si finalmente la operación de los proyectos cumple con el objetivo original de éstos es dotar a la estructura operativa del S.N.I. de un Subsistema de Evaluación Ex-post (Bloque N° 3 del esquema).

La evaluación ex-post debe ser vista como la culminación del ciclo de un proyecto en que se analiza y mide los efectos reales que el proyecto produjo.

Así, el objetivo de un subsistema de evaluación ex-post es contar con un instrumento que contribuya a una ejecución eficiente

1 En la Sección N° 4 del documento se presenta una Guía para contratar Estudios y Obras.



de proyectos y, que permita a los encargados de tomar decisiones, el extraer enseñanzas para el futuro.

El organismo a cargo de esta labor debe ser independiente a las unidades ejecutoras y de las entidades que de alguna manera están involucradas en la formulación, evaluación y ejecución de los proyectos.

El proceso de Inversión Pública, genera una gran cantidad de información que debe estar disponible para la toma de decisiones.

Para que el esquema planteado pueda operar efectivamente requiere de informa-

ción sistematizada y oportuna, para ello es necesario primero normatizar la información y procedimientos, luego, difundirla para que ésta sea de uso común en todo el sector público, y recién entonces, crear un banco de proyectos de inversión pública<sup>2</sup> que almacene y procese todos los datos relevantes que van dando cuenta del avance de cada proyecto en el ciclo y de los resultados que se obtengan en cada etapa.

---

2 En la Sección N° 5 del documento se expone en detalle el Banco Integrado de Proyectos de Inversión Pública.

## Subsistema de evaluación ex-post

### Introducción

Existe en el país un proceso bien establecido de evaluación ex-ante de los proyectos que financia el sector público. Este proceso es administrado por MIDEPLAN tal como se explica en el Subsistema de Análisis Técnico-Económico de proyectos.

Una vez aprobado el presupuesto los Ministerios y Servicios ejecutan sus proyectos, programas o estudios básicos.

En esta etapa de inversión, la asignación por proyecto y el gasto, son objeto de un control estricto en el Ministerio de Hacienda como se explica en los Subsistemas Formulación Presupuestaria y Ejecución Presupuestaria.

No existe en Chile un proceso de seguimiento completo de los proyectos y programas, en el sentido que haya también un seguimiento de las estimaciones del gasto necesario para terminar el proyecto o programa, de la relación que queda por gastar y lo que ya se consumió, y principalmente del comportamiento estimado de los beneficios potenciales. No hay así, forma de juzgar, sobre la marcha, si la decisión de invertir sigue siendo válida, si es necesario introducir cambios en el proyecto o programa para alcanzar los objetivos trazados, o si es preferible cancelar el proyecto definitivamente.

En forma similar, una vez que se concluye un proyecto o programa no hay un sistema institucionalizado, de verificar si el proyecto se comporta como se planificó, si existen desviaciones significativas entre lo esperado y lo realizado, y por qué. Así no hay forma de aprender de la experiencia práctica de proyectos anteriores, no hay una memoria institucional que permita mejorar las metodologías de evaluación ex-ante y ejecución de los proyectos, de dar cuenta de los recursos que se usaron, ni existe un control de calidad de las inversiones.

En esta área del S.N.I., hay un vacío importante que es preciso llenar.

Con este fin MIDEPLAN ha realizado los primeros esfuerzos en diseñar un proceso de Seguimiento y Evaluación Ex-post así como una metodología para la evaluación ex-post de los proyectos financiados con recursos públicos.

## Proceso de seguimiento y evaluación ex-post

En este proceso deben participar los siguientes niveles:

- Nivel de Servicio o Unidad Ejecutora.
- Nivel de Ministerio
- Nivel de MIDEPLAN

**Nivel de Servicio o Unidad Ejecutora:** Corresponde a la Unidad que realiza la ejecución del proyecto. Las funciones de este nivel serían las siguientes:

- Preparar la programación de las actividades a realizar durante la ejecución del proyecto con el nivel de detalle requerido para la supervisión, seguimiento y avance de la ejecución.
- Determinar los recursos humanos, físicos y financieros que requiera el proyecto durante su ejecución con el nivel de detalle requerido para el seguimiento y la evaluación ex-post.
- Establecer los puntos de control por actividad e indicadores de verificación en cada punto.
- Recolectar la información de avance físico-financiero.
- Comparar lo ejecutado con lo programado, determinar las posibles desviaciones y su transcendencia en lo que queda por ejecutar. Si las desviaciones son importantes, deberá investigar sus causas, proponer las modificaciones y realizar las reprogramaciones pertinentes.
- Preparar periódicamente los informes de seguimiento según pauta previamente establecida y enviarlos al ministerio respec-

tivo.

- Una vez ejecutado el proyecto, deberá enviar al ministerio, un informe final que resuma todo el proceso de ejecución, refiriéndose a los problemas de orden técnico, administrativo y financiero que surgieron durante la ejecución.
- Realizar el seguimiento de las variables e indicadores de la operación del proyecto que se definieron cuando se evaluó en forma ex-ante. Esta información se enviará al ministerio respectivo, en el cual habrán encargados de analizar e investigar los aspectos que se estimen pertinentes, de modo de validar la información.

**Nivel de Ministerio:** Cada ministerio deberá revisar y analizar los informes mensuales de seguimiento, comparando lo real con lo programado y, en caso de ser necesario, estudiará los problemas surgidos en las diferentes etapas de la ejecución de los proyectos.

Además, deberá preparar un informe de las evaluaciones continuas y enviarlo a las unidades ejecutoras para retroalimentar el sistema.

**Nivel de MIDEPLAN:** En este nivel se realizarán las siguientes actividades:

- Preparar y enviar a ministerios las normas e instrucciones referidas a la evaluación ex-post.
- Seleccionar anualmente los proyectos a los cuales se les hará evaluación ex-post.
- Preparar un informe inicial de cada uno de los proyectos, considerando la ficha y la evaluación ex-ante, el cual estará enfocado hacia los problemas técnicos, institucionales y administrativos que puedan hacer fracasar el proyecto, como también señalando la información e indicadores que servirán para realizar la evaluación ex-post.
- MIDEPLAN emitirá un informe final por proyecto, considerando su informe inicial y los demás informes enviados por el ministerio y la unidad ejecutora. En este informe se señalarán las conclusio-

nes y recomendaciones que se desprendan de las evaluaciones continuas y ex-post.

- Mejorar las metodologías de evaluación ex-ante considerando los resultados y recomendaciones obtenidas en la evaluación ex-post.

Una vez que MIDEPLAN cuente con los informes finales por proyecto, preparará un informe por sector en que se recopilarán las recomendaciones y conclusiones, todo lo cual servirá para mejorar la gestión de los proyectos. Estos informes sectoriales se centrarán en:

- el logro de los objetivos,
- la estimación de beneficios y
- los costos de los proyectos.

## Metodología de evaluación ex-post

En forma general, se pueden identificar cinco etapas en la metodología de evaluación ex-post que son identificación, medición, confrontación, explicación y divulgación.

La *identificación* tiene que ver con la necesidad de precisar el proyecto a ser evaluado, sus objetivos y los factores endógenos y exógenos que intervinieron. Es necesario en esta etapa la reconstrucción de la historia del proyecto desde su concepción en la forma de idea hasta su conclusión pasando por su evaluación y diseño.

Estas no son tareas fáciles, rara vez se encuentran situaciones aisladas y suficientemente especificadas. Los proyectos son normalmente complejos, están insertos en un sistema preexistente o forman parte de un sistema mayor del cual son sólo un elemento. Las dificultades de separar un proyecto para analizarlo aparecen en todos los sectores.

La *medición* es la esencia misma de la evaluación y debe tender a producir, antes que una exactitud que muchas veces es im-

posible de alcanzar, por lo menos la dirección y el orden de magnitud de los efectos observados.

Esto puede dificultarse dependiendo de la naturaleza del proyecto y normalmente requiere de la estimación de indicadores cuantitativos que deben ser definidos como parte de la evaluación ex-ante.

La tercera etapa de una evaluación ex-post es la *confrontación* de la situación observada con la situación que se esperaba encontrar gracias al proyecto. La existencia de un sistema adecuado de archivo de los antecedentes que respaldaron al proyecto, de una memoria institucional, o de un banco de datos respecto de los proyectos es imprescindible para la ejecución de esta tarea.

La etapa siguiente es la *explicación* de los fenómenos y efectos observados, de las diferencias entre lo esperado y la realidad identificadas en la etapa anterior. Esta explicación es la base de las conclusiones y recomendaciones que se extraen del análisis ex-post de un proyecto, y la clave de cuya validez depende en última instancia la validez de la evaluación y por lo tanto las generalizaciones que se puedan hacer a partir de ella. Las conclusiones de una evaluación son en última instancia el elemento que, retroalimentando el proceso, permite esperar que los proyectos futuros sean mejores que los precedentes.

Finalmente está la *difusión* de los resultados. La publicidad que se dé a los informes de evaluación es un asunto respecto del cual es imposible dar pautas sistemáticas.

Ciertas evaluaciones deben ser por naturaleza confidenciales o estar restringidas a circular sólo entre los actores principales de un proyecto. Como principio general, sin embargo es preferible fijar de antemano el grado de difusión que se pretende dar a los informes.

Al final de cuentas uno de los propósitos de la evaluación es el proveer información a los niveles de decisión respecto del desenvolvimiento de los proyectos para mejorar los subsecuentes. Sin difusión es imposible

lograr ese objetivo.

## Usos de la evaluación ex-post

Es evidente que la evaluación permite discriminar entre los "buenos" y los "malos" proyectos, y además permite determinar la eficiencia con que se usaron los recursos de inversión así como su eficacia.

Intimamente ligado a la eficacia, está el control de calidad de los proyectos. Desde un punto de vista macroeconómico, no basta sólo con invertir, es indispensable que la calidad de la inversión sea tal que garantice la más alta rentabilidad.

Finalmente, la evaluación ex-post puede y debe ser vista como un instrumento de cambio, como un medio de adaptar no sólo las técnicas y métodos de evaluación ex-ante, sino todas las etapas del ciclo de los proyectos de acuerdo a los resultados de la experiencia práctica. La retroalimentación de la experiencia adquirida es una excelente vía para mejorar:

- la forma de identificar proyectos y buscar soluciones a los problemas
- la preparación, planificación y diseño de los proyectos
- la evaluación ex-ante de los proyectos,
- la administración, ejecución y supervisión de los proyectos
- el seguimiento y la evaluación continua de las actividades de un proyecto
- el grado de coordinación y cooperación entre instituciones

## Principios básicos

Se pueden distinguir por lo menos dos principios básicos para la conducción de la actividad evaluadora. Por un lado la evaluación debe ser llevada a cabo dentro de un marco en el que los resultados sean transparentes y reproducibles. Segundo, el evaluador responsable de las conclusiones debe ser independiente de los entes que intervienen en la formulación, evaluación ex-ante, decisión y ejecución de los proyectos.

El primer principio responde a la necesidad de evitar, dentro de límites razonables, ambigüedades que puedan dar lugar a interpretaciones antojadizas de los resultados. Para ello debe existir un instrumento como manual o guía que permita a cualquier evaluador, con la misma información y siguiendo el mismo método, llegar a la misma conclusión. Este manual debe fijar el objeto de la evaluación, las fuentes de información a utilizar, y las metodologías y técnicas de investigación que se utilizarán.

Tal manual no sólo es de utilidad para el evaluador, en cuanto que facilita el trabajo y permite despersonalizar la evaluación.

El segundo principio responde a la necesidad de evitar riesgos innecesarios y los conflictos de interés, con que frecuentemente se asocia a las autoevaluaciones. Los beneficios de una evaluación imparcial, independiente, son claramente mayores que los de una autoevaluación, en particular cuando se trata del uso y la difusión de los resultados.

## 2. Banco de proyectos

Un banco de proyectos en un sistema de información sobre proyectos de inversión que tiene como objetivo fundamental apoyar la toma de decisiones de gestión de la inversión pública, la cual abarca desde la preinversión hasta la operación.

Estas decisiones pueden referirse a planificación, programación, seguimiento y control de la preinversión, la inversión y operación. Para ello, se requiere de metodologías homogéneas relativas a programación, formulación, evaluación, control de avance, administración y manejo de proyectos que, organizan y estandarizan la información relevante para el objetivo antes mencionado.

### Objetivos

Un banco de proyectos debe, en términos generales, cumplir las siguientes condiciones:

- contar con un flujo permanente y actualizado de información sobre proyectos con distinto grado de maduración,
- mantener información homogénea sobre el grado de avance de los proyectos que se están estudiando o elaborando, cualquiera sea el estado y etapa en que se encuentren,
- facilitar el análisis individual y agregado de los proyectos a distintos niveles: nacional, institucional, sectorial, regional, municipal, etc.,
- constituirse en una herramienta de integración entre los distintos subsistemas que participan en la gestión de inversión pública,
- apoyar con información agregada la elaboración de programas alternativos de preinversión o inversión,
- facilitar el seguimiento y evaluación expost de los proyectos,
- retroalimentar, con información histórica, el mejoramiento de metodologías, normas y procedimientos del proceso de gestión de la inversión pública, mejorando por ende la calidad de la información actual y futura para la toma de decisiones,
- apoyar la sistematización y organización del proceso de gestión de la inversión pública, de manera que las funciones de decisión, asesoría y control se cumplan sobre bases conceptuales, metodológicas

- y técnicas, homogéneas y sistemáticas, y
- apoyar, cuando corresponda, el proceso de descentralización en aquellas áreas relacionadas con gestión de la inversión pública.

Dadas las condiciones anteriores un banco de proyectos podrá cumplir, entre otros, los siguientes objetivos:

- Entregar en forma permanente y dinámica, información del proceso de gestión de la inversión pública en su conjunto, como de cada una de las instituciones públicas involucradas en dicho proceso (ministerios, organismos regionales, provinciales, comunales, etc.).
- Brindar información detallada sobre cada uno de los proyectos y contratos que se suscriben, permitir efectuar análisis del proceso de preinversión y/o inversión, por ejemplo, los gastos incurridos en un contrato y su relación con lo estimado en la evaluación (nivel micro), y sobre el nivel agregado del proceso de inversión pública y sus efectos sobre variables como: demanda y oferta agregada, empleo

generado, uso de divisas, endeudamiento, gastos futuros de operación, etc.,

- Satisfacer los requerimientos de los usuarios, (instituciones del sector público), a fin de mejorar y agilizar, las labores de programación y ejecución relacionadas con la preinversión e inversión del sector público.
- Vincular a las instituciones que participan en el proceso de inversión pública y mejorar a través de la coordinación institucional, la toma de decisiones, las labores de administración y las tareas de planificación.

Es así que un banco de proyectos es un sistema de información que capta y procesa datos de proyectos a fin de apoyar el proceso de gestión de la inversión pública.

Los objetivos mencionados son generales y abarcan el proceso completo de gestión de la inversión pública, dependerá de cada caso particular la definición precisa de los mismos y el énfasis que se pondrá en las distintas actividades relacionadas con la inversión pública.

### 3. Desarrollo de un banco de proyectos

En el proceso de creación y desarrollo de un sistema de información como el banco de proyectos, cuyos objetivos se describieron anteriormente, es posible distinguir etapas secuenciales, la primera de las cuales consiste en realizar un diagnóstico exhaustivo del proceso de gestión de la inversión pública vigente, a fin de determinar cómo operará en el futuro este proceso, su estructura y las normas que lo organizan y regulan.

Una vez realizado lo anterior es posible conocer los requerimientos de información que deberá satisfacer el banco de proyectos. A continuación, se procederá a elaborar el diseño conceptual del sistema, y a definir y evaluar las diversas alternativas factibles para proporcionar el servicio. Posteriormente, seleccionada la alternativa, corresponderá elaborar en detalle el diseño lógico y físico, para luego contratar el desarrollo del sistema. Finalmente, previo a la entrega del sistema a sus usuarios, deberá existir un período de marcha blanca, para luego entrar en operación.

#### Diagnóstico del proceso de gestión de la inversión pública

A fin de identificar las necesidades y particularidades de la información requerida por el proceso, determinar si es necesario o no un banco de proyectos y de qué características, se requiere conocer los aspectos institucionales, conceptuales, administrativos, legales, humanos y materiales que conforman el sistema de inversión local.

Como paso previo a la creación de un banco de proyectos se debe conocer en detalle el proceso de gestión de la inversión pública. Para ello, será necesario identificar las acciones de inversión que realiza el sector público.

El diagnóstico debe cubrir el ciclo de vida de los proyectos, desde que son detectadas las necesidades hasta su etapa de operación o de generación de beneficios.

Es preciso identificar todas las instituciones que participan en el proceso, establecer y definir claramente las funciones que realizan, clasificar su participación (directa o indirecta), definir el ámbito de acción de cada



una y el grado de descentralización existente.

A objeto de determinar y conocer en detalle el proceso de gestión de la inversión pública, a continuación se enumera un conjunto de interrogantes que se debiera responder previo a definir el banco de proyectos:

¿Cuál es el ciclo de vida de los tipos de proyectos identificados?, ¿qué estados y etapas lo conforman?, objetivos y características de las mismas, nivel de profundidad de los estudios, contenido y resultados.

Asimismo, ¿qué instancias administrativas se cumplen en relación al ciclo de vida?, ¿qué se hace cuando se identifica una necesidad, cómo y a quién debe comunicarse?, ¿quién autoriza la ejecución de los estudios? y ¿quién define cuál es el próximo nivel que corresponde elaborar?, ¿cómo se solicita fondos?, ¿a quién?, ¿a través de qué medios?, ¿cuál es la relación entre el ciclo de proyectos y el proceso presupuestario?.

¿Cuál es la reglamentación, normas o leyes en que se apoya y regula el proceso de gestión de la inversión pública?.

¿Cómo están conformados y cuál es el nivel de capacitación de los cuadros técnicos que participan en este proceso?.

¿De qué recursos materiales dispone la administración pública para apoyar el proceso de gestión de la inversión?.

Con todos estos antecedentes se deberá determinar cómo operará en el futuro este proceso, conceptual y administrativamente; qué cambios corresponde efectuar, qué necesidades existen en cuanto a normas, cómo se va a unificar la terminología en todo el sector público.

## Identificación de requerimientos de información

Cumplida la etapa anterior, corresponde identificar la información requerida en las diversas instancias y que podría ser procesada por el sistema, tomando en cuenta para

ello las características de la información, de acuerdo a las distintas funciones que cumple cada nivel de decisión.

En cuanto a la identificación de la información, deberá establecerse para cada función las entradas y salidas de información, así como para las diversas actividades identificadas en cada una de ellas.

Por ejemplo, las entradas de información para la función asesora pueden ser metodologías, estudios de proyectos, políticas de inversión establecidas por la función de gobierno; y sus salidas pueden consistir en listados de proyectos recomendados y en algunos casos priorizados.

Por su parte, en el caso de la función de gobierno, las entradas pueden ser las proposiciones originadas en la función asesora y las solicitudes e informes provenientes de la función administración. Por otra parte, las salidas de esta función podrían corresponder a las políticas a seguir en el proceso de inversión pública, (nacionales, sectoriales, regionales), readecuación financiera y decisiones relativas al curso futuro de los proyectos y estudios (a financiar, congelar o abandonar).

Asimismo, la función administración podrá tener como entradas las decisiones de la función gobierno relativas a los estudios a elaborar, los proyectos a ejecutar y los recursos disponibles para ello; las metodologías disponibles para la evaluación de los proyectos provenientes de la función asesora. Esta función podrá entregar como salidas proyectos o especificaciones para la contratación y elaboración de estudios, informes relativos al avance físico y financiero de los proyectos en ejecución y estudios en elaboración.

Luego, corresponde identificar para cada función las diversas actividades que la componen, efectuando para cada una de ellas el mismo análisis anterior.

Por ejemplo, en el caso de la función de administración es posible distinguir las siguientes actividades: identificación de pro-

yectos, programación de caja, programación de estudios, programación de obras.

Realizado este análisis, es conveniente elaborar un diagrama de flujo que refleje los requerimientos de información necesarios para el proceso de gestión de la inversión pública, el cual debe ser complementado con una clara descripción de los flujos y de las características de dicha información.

Con todos los antecedentes descritos, corresponderá identificar, cuáles de los requerimientos de información identificados, serán procesados y cuáles podrían ser satisfechos por el sistema de información. Entonces se deberá definir los objetivos específicos del sistema, los que serán la base para el diseño conceptual del mismo, y determinar las características del banco de proyectos requerido.

## Diseño conceptual de un banco de proyectos

Esta actividad tiene por finalidad definir las características generales del banco de proyectos necesario para cumplir los objetivos específicos ya determinados. Como resultado de ella se deberá identificar las funciones que serán realizadas por el banco y los flujos de información entre éste y los usuarios.

### Cobertura conceptual

Un banco de proyectos tiene como objetivo fundamental mejorar la toma de decisiones en el proceso de gestión de la inversión pública. Por lo tanto, la demanda de información vinculada con este propósito específico determina las variables pertinentes.

En la asignación de recursos para preinversión e inversión, la demanda de información proviene de todas las instituciones involucradas en el proceso, estando determinada por la función que desempeña cada

una (decisión, asesoría o ejecución), y por el marco legal que fija la competencia de cada institución.

Para la toma de decisiones de asignación de recursos los niveles de gobierno requieren información oportuna, sistematizada, resumida, elaborada y analizada, la cual es preparada por los niveles de asesoría pertinentes, quienes también demandarán información sistematizada, de detalle y resumida a fin de elaborar dichos informes.

Por su parte, los niveles de ejecución, demandan información de detalle de los proyectos que se relacionan con su ámbito de acción, a objeto de realizar análisis de seguimiento de sus etapas, evaluación ex-post, y mejorar la gestión del proceso a nivel de su institución.

La oferta o provisión de la información se origina, en su mayor parte, en las instituciones inversoras o ejecutoras, (nivel de administración) quienes deben incorporar información homogénea y desagregada, con el grado de detalle que el nivel de gobierno requiera.

La información demandada por estos niveles puede referirse a cualquiera de las etapas del ciclo de vida de los proyectos.

No obstante, el banco de proyectos sólo podrá almacenar y procesar información homogénea, sistematizada y resumida a ser utilizada por los niveles de decisión, planificación y ejecución.

Al definir la cobertura conceptual de un banco de proyectos, se le debe estructurar de manera tal, que permita almacenar y procesar información formal, sistematizada, homogénea, relevante y oportuna, referida a los proyectos de inversión pública y al cumplimiento de las actividades inherentes a su ciclo de vida.

La carencia de información formal estandarizada disminuye las posibilidades de concretar las funciones de asesoría y dificulta las vinculaciones y correcta comunicación entre los niveles de administración y los niveles de decisión.

Habiendo identificado y definido en el diagnóstico, las distintas acciones o tipologías que se incluye en inversión pública, será necesario decidir cuáles de ellas serán incorporadas en el banco de proyectos; si éste se restringirá sólo a proyectos de inversión en capital físico (proyectos) o si se incluirán las inversiones en capital humano y físico (programas) y otros estudios (básicos).

En síntesis, el diseño debe abarcar la totalidad del ciclo de vida de cada una de las tipologías de proyectos de inversión. En consecuencia, debe incluir todos aquellos aspectos vinculados con el cumplimiento del ciclo de vida de los proyectos de inversión: identificación de ideas, descripciones, justificaciones, observaciones, resultados de estudios, decisiones, solicitudes de financiamiento. Así como, resultados de análisis técnico-económico, presentación a presupuesto, asignación de recursos e identificación en el presupuesto, programación y avance financiero del presupuesto otorgado, contratos, programación y avance físico y financiero de contratos, créditos externos, etc.

### **Banco de proyectos y el ciclo de los proyectos**

El banco de proyectos requiere de información sistematizada y homogénea, por lo tanto, si ésta no existe se deberá desarrollar una fase previa de normatización. En ella se deberá establecer normas y reglas que estandaricen el proceso de estructuración de la información formal y su procesamiento.

Para el diseño de un banco de proyectos es imprescindible normatizar la estructura del ciclo de los proyectos, las variables a considerar, las etapas que lo integran y su denominación. El sistema requiere un ciclo de proyectos normatizado a efectos de poder almacenar y procesar información homogénea.

Los proyectos pueden cumplir el ciclo de manera anormal, saltando etapas de la preinversión o no, desarrollando los estu-

dios que se requerirían para un tratamiento correcto de las opciones de inversión, tal situación debe ser reflejada sin problemas en el banco de proyectos. En tal sentido, se estima que la obligatoriedad del cumplimiento del ciclo, de acuerdo con una cierta secuencia y requisitos debe imponerse a través del establecimiento de normas específicas, ajenas al sistema de información. El uso de la estructura y operación de un banco de proyectos permitirá retroalimentar las normas y verificar sus efectos.

### **El proyecto es la unidad del sistema**

Dada la conceptualización descrita del banco de proyectos, a través del sistema se debe mantener individualizado cada uno de los proyectos de inversión durante todo su ciclo de vida. Es decir, cada proyecto requiere mantener invariables algunos datos que permitan identificarlo.

Por los motivos antes expuestos, el proyecto es considerado la unidad mínima dentro del sistema, que va pasando por una serie de etapas, sufriendo algunas transformaciones que van revelando su potencialidad y entregando antecedentes que apoyan la toma de decisiones en relación al curso a seguir. Por lo tanto, para su identificación permanente e inequívoca cada proyecto debe mantener inalterable al menos los siguientes aspectos:

**Código identificador:** es un código correlativo que identifica cada proyecto de inversión, puede ser otorgado automáticamente si el banco se instala en un medio computacional y debe identificar al proyecto desde su incorporación al sistema y mantenerse incluso cuando es terminado o abandonado.

**Nombre del proyecto:** cada proyecto debe ser incorporado al sistema con un nombre que debe permanecer también invariable durante todo el ciclo de vida. Además, ser de naturaleza tal que identifique cada proyecto de manera inequívoca, dando una idea precisa de lo que se desea efectuar y que sea

válido durante toda la vida del proyecto. Para ello se recomienda establecer normas estrictas que normaticen su identificación y tengan por resultado un nombre uniforme para proyectos de una misma naturaleza.

### **Etapas, proyecto y estado del proyecto**

El banco de proyectos debe reflejar la forma en que el proyecto cumple el ciclo de vida en la realidad, por lo cual cada proyecto sólo podrá estar en una sola etapa en un momento determinado.

Desde el punto de vista conceptual, los resultados alcanzados durante el desarrollo de una etapa del ciclo constituyen elementos básicos para la toma de decisión relativa al curso futuro del proyecto; es decir, avanzar o no a otra etapa, y a cuál de ellas, por lo tanto, conceptual y lógicamente un proyecto sólo puede estar en una etapa en un momento determinado, y a su vez el estado de avance del proyecto se encuentra determinado por la etapa y por las tareas realizadas en el proyecto dentro de la etapa en que está radicado.

A tales efectos, se podrá identificar los pasos que se debe seguir en el desarrollo de las etapas, y a través de los cuales se va marcando el grado de avance de cada una, como por ejemplo: etapa abierta, en elaboración, con resultados, con estimaciones, con contrato.

En algunas oportunidades, un proyecto puede, durante el desarrollo de su ciclo de vida, completar una etapa más de una vez. En otros términos, al cubrir una etapa, un proyecto no necesariamente pasará a la etapa siguiente desde el punto de vista conceptual; por el contrario, es posible que un proyecto deba retroceder en el cumplimiento del ciclo a efectos de desarrollar nuevamente etapas ya elaboradas con anterioridad.

### **Etapas e Instituciones responsables**

Si los proyectos, dentro del sistema de inversión que hemos analizado, pueden cambiar de institución responsable a medida que van superando etapas dentro del ciclo de vida, resultará imprescindible identificar con claridad la institución que tiene la responsabilidad del desarrollo de una determinada etapa de éste.

Si tal situación se presenta, el banco de proyectos debe contemplar que siempre exista una institución que tenga asignada la responsabilidad del desarrollo de cada etapa; dado que esta institución será la única que puede incorporar o modificar información dentro de la etapa y dar por terminada la misma. La terminación de una etapa requiere la toma de una decisión de pasar el proyecto a otra etapa e identificar la institución que será responsable del desarrollo de la misma. Por su parte, la apertura de la siguiente etapa requiere, que la institución responsable de ella, acepte a través de un acto explícito, tal delegación, la que debe registrarse en el banco de proyectos.

### **Relación entre el ciclo de los proyectos, análisis técnico-económico y presupuesto**

En el diseño de un banco de proyectos, determinado por las características del ciclo de vida de los proyectos, se debe considerar la integración con otros aspectos del sistema de inversión local, tales como: presentación del proyecto, solicitud de fondos, análisis técnico-económico, asignación de recursos a nivel de proyectos, ejecución del presupuesto, etc. De tal manera, que el diseño contemple la individualización de cada proyecto a medida que se cumple con el desarrollo de actividades como: presentación del proyecto para su análisis técnico-económico, solicitud de fondos para una etapa, programación de avance financiero y físico, suscripción de contratos, programas de avance de cada contrato, avance físico y financiero real, etc.

Además es conveniente coordinar y compatibilizar la identificación de los proyectos en el banco de proyectos, con las normas y procedimientos establecidos por los organismos pertinentes para la formulación del presupuesto y contabilización del gasto público.

### **La información es referencial y no sustituye a la legal**

El sistema planteado deberá ser orientado hacia las instituciones usuarias de niveles de gobierno, asesoría y administración. Sin embargo, la información que el sistema almacena y procesa es referencial, por lo tanto no sustituye a las normas sobre compromisos o responsabilidades legales que puedan tener las instituciones generadoras de la misma.

En especial, la información de asignación presupuestaria y de contabilidad gubernamental a nivel de cada proyecto específico no tiene validez legal (por ejemplo, a efectos de rendiciones de cuentas de gasto público). No obstante, si las instituciones tienen la seguridad que la información contenida en el sistema responde a la realidad, ésta puede obtenerse a través de listados o reportes impresos y posteriormente legalizarse.

En síntesis, dado que el banco de proyectos tiene por objeto facilitar las labores de análisis, coordinación, programación y ejecución de proyectos, la información del sistema es complementaria, pero no sustituto de la exigida a los efectos de contabilidad gubernamental.

### **Identificación de alternativas técnicas**

Una vez claro el diseño conceptual, del sistema a desarrollar, se deberá identificar las diversas alternativas técnicas que podrán satisfacer los requerimientos definidos.

### **Sistema manual**

Esta alternativa consiste en desarrollar procedimientos y métodos sistemáticos para la administración de la información, lo cual incluye su recolección, organización, almacenamiento, procesamiento, selección y presentación, de manera que preste un apoyo eficaz a la toma de decisiones.

Constituye, por lo general, la alternativa que debería desarrollarse en una primera etapa a fin de lograr establecer y consolidar los nuevos procedimientos y la estandarización de la información en todo el sector público.

### **Sistema computacional**

El diseño computacional de un banco de proyectos no debe pretender solucionar todos los problemas del Sistema Nacional de Inversión o apoyar todas sus funciones en él. Ello podría conducir al diseño de un sistema sumamente complejo, con costos de desarrollo y operación excesivos, creándose un sistema inmanejable debido a su complejidad y posible rigidez.

En las primeras fases de desarrollo del banco, es conveniente que se considere e incluya los procedimientos ya existentes en el Sistema Nacional de Inversión, aún cuando ellos no sean perfectos. En caso contrario, la operación del sistema podría verse obstaculizada por el rechazo natural que provocan los cambios.

En síntesis, algunas de las alternativas técnicas a considerar pueden ser las siguientes: sistema manual, bases de datos distribuidas, computador central con bases de datos distribuidas, computador central con terminales en línea. Asimismo, se podría considerar diversas alternativas de comunicación: listados, vía diskettes, vía cintas o en línea.

Determinadas las alternativas que satisfacen los requerimientos, deberá efectuarse su análisis técnico-económico, a fin de identificar la más rentable.

## Diseño lógico

Una vez seleccionada la alternativa más conveniente y tomada la decisión de desarrollar el sistema, se deberá proceder a elaborar el diseño lógico y físico detallado.

En esta etapa, corresponde identificar y definir, entre otros, la estructura de la base de datos, las variables del sistema, sus características, sus relaciones o bien la estructura de la información y los procedimientos dentro de la base.

Como resultado del diseño se podrá identificar y dimensionar los equipos requeridos, así como las características del software a desarrollar.

## Implementación del sistema

Esta etapa comprende la adquisición de equipos, desarrollo del software, elaboración de manuales, capacitación de usuarios, en algunos casos la carga masiva de información y un período de marcha blanca; actividad indispensable a fin de detectar y corregir los errores o problemas en la operación del sistema.

## Posibles aplicaciones de un banco de proyectos

A continuación se presenta un detalle, no exhaustivo, de posibles usos de la información existente en un banco de proyectos.

### **Análisis particular de proyectos**

El sistema debe permitir un acceso rápido a la información de un proyecto específico, conociendo su código, así mostrará las variables principales que caracterizan cada una de las etapas y aspectos de cada proyecto, los que permitirán su análisis.

A este nivel, es conveniente definir informes impresos, mediante los cuales se extraerá información predefinida relativa al proyecto y a las distintas variables que lo caracterizan: etapa, contrato, solicitud de financiamiento, asignación de recursos, a fin de facilitar el análisis puntual del proyecto o de una situación particular de éste.

### **Identificación de proyectos disponibles para ejecución**

Mediante el uso de listados, y definiendo las variables que permiten identificar los proyectos ya evaluados, analizados, recomendados y aprobados, y que no cuentan con financiamiento, se podrá disponer de información relativa a aquellos que se encuentran listos para ser ejecutados.

### **Seguimiento de proyectos**

Dado que un banco de proyectos debe conservar la información generada durante los estudios de preinversión de cada proyecto, será posible efectuar una evaluación expost de los principales aspectos incidentes en la decisión de ejecutarlo, a fin de verificar las estimaciones y supuestos y retroalimentar la metodología aplicada en cada caso.

### **Identificación de proyectos vinculados**

Si en el banco, al ingresar cada proyecto, se exige la identificación de algunos de los proyectos relacionados indicando para cada uno, el código y su relación con el proyecto que se está ingresando, se podrá entregar información que ayude a planificar en forma más eficiente la asignación de recursos para inversión.

## **Análisis de la orientación de la preinversión y de la futura inversión: global, sectorial y regional**

La información de las etapas de cada proyecto y el registro de los avances, en términos de cambio de una etapa a otra, permiten identificar los sectores con mayor demanda por estudios de preinversión, tipos de estudios más demandados, y acorde con esta información, la inversión proyectada por período y sector.

## **Cronograma de iniciación de estudios de proyectos**

El conocimiento de los requerimientos de estudios previos, por categorías de proyectos, permitirá programar la elaboración de los distintos estudios a fin de asignar una mayor prioridad a aquellos que afectan a proyectos y sectores considerados estratégicos en los planes de desarrollo.

## **Seguimiento del avance de los estudios de proyectos**

Cualquier modificación en el avance programado para la ejecución de los estudios produce alteraciones en alguna etapa específica, lo cual motiva requerimientos de información adicional por parte de la unidad técnica, significando cambios en la programación original.

## **Estimación de costos promedio de estudios de preinversión, por etapa y tipo de proyecto**

Incluyendo los proyectos de un tipo determinado, que tengan información relativa a las etapas previas a la ejecución, es posible obtener el monto invertido en las distin-

tas etapas para un tipo determinado de proyecto.

## **Análisis de la demanda de financiamiento y cooperación técnica para preinversión**

La información obtenida relativa a la programación de los estudios de preinversión a ejecutarse en los diferentes sectores, permite anticipar los requerimientos financieros para preinversión por período y sector.

Ello permitirá, identificar sectores con limitaciones en sus disponibilidades de recursos para inversión, como también aquellos sectores que, eventualmente, dispongan de recursos excedentes que pudieran ser reasignados, optimizando el proceso de inversión en general.

Por otra parte, la naturaleza de algunos estudios de preinversión impone restricciones de carácter técnico, que pueden o no ser satisfechas con los recursos humanos disponibles en la propia institución gestora del estudio. En caso de no serlo, es posible solicitar apoyo técnico complementario, a objeto de contar con los medios necesarios para llevar a cabo eficientemente su ejecución.

## **Análisis de financiamiento de preinversión e inversión a nivel de instituciones**

Mediante el uso de listados y definiendo las variables identificatorias de la institución, etapas de la preinversión, montos asignados y área geográfica a considerar, es posible obtener un reporte con información relativa a los recursos asignados a preinversión, para una determinada institución en un área geográfica predefinida. También se puede determinar los recursos asignados a inversión si se cambia la variable etapa y se incluye sólo los proyectos en ejecución.

## **Programaciones preliminares de inversión sectorial o regional**

La disponibilidad de proyecciones de inversión de acuerdo a los estudios y proyectos en ejecución, permite elaborar una programación preliminar de la inversión sectorial, regional o comunal. Estas pueden ser comparadas con las estrategias de desarrollo, a objeto de verificar la correcta asignación de los fondos fiscales hacia aquellas áreas consideradas prioritarias, para el logro de los objetivos planteados.

## **Cronograma de la inversión**

Dado que el banco de proyectos incluye información histórica sobre la etapa de ejecución de los proyectos, la programación física y financiera de las obras se podrá efectuar con un mayor grado de precisión, al disponer de perfiles que reflejen los flujos de gastos de cada proyecto. Entonces el sistema permitirá una mayor efectividad en la programación financiera de la inversión.

## **Estimación de costo unitario promedio de ejecución, por tipo de proyecto**

Identificando una tipología específica de proyectos y definiendo las variables que permitan extraer los costos totales de ejecución y magnitud de cada proyecto, es posible estimar el costo unitario promedio de ejecución.

## **Estimación de la demanda de financiamiento para inversión**

La programación de los estudios permite también disponer de un calendario tentativo de inversiones por período y sector. Dicho calendario señala los sectores con mayor demanda de recursos para inversión como

también los requerimientos totales de inversión por período.

## **Análisis prospectivo de las fuentes de financiamiento de la inversión y sus efectos sobre el endeudamiento interno y externo**

La determinación de los requerimientos financieros por período y su comparación con proyecciones de disponibilidad de fondos, permitirá identificar el impacto de un determinado nivel de inversión sobre el presupuesto fiscal (endeudamiento interno o externo). Con esta información es posible estudiar las fuentes de financiamiento factibles, en términos del costo del endeudamiento para el país.

## **Análisis prospectivo del efecto de la inversión sobre los gastos de funcionamiento del sector público**

El sistema debe permitir agregar los gastos de funcionamiento de los proyectos en ejecución y por ejecutarse. Tal agregación posibilitará proyectar, la evolución futura del gasto corriente fiscal. Dicho antecedente, en conjunto con los requerimientos de inversión, permitirá efectuar simulaciones de presupuestos de gasto fiscal total.

## **Función de control**

El banco de proyectos, al disponer de archivos que contienen información por proyecto y relativa a cada contrato, facilita a los organismos contralores el análisis comparativo de las variables de mayor interés. En particular, un banco de proyectos podrá permitir entonces, efectuar controles por proyecto, por etapa, por contrato, por asignación y por fuente de financiamiento.



## **Posibilidad de disponer permanentemente de una fuente generadora de ideas de proyectos: archivos de proyectos abandonados**

Todos aquellos proyectos que en alguna etapa de estudio de preinversión son descartados por alguna razón técnica o de otro orden, pueden ser almacenados en un archivo de proyectos abandonados, en el cual permanecerán con toda la información acumulada hasta el instante de la decisión de abandono, incluyendo la razón de esta decisión. Este archivo puede ser utilizado como fuente generadora de ideas de proyectos, que en algún momento pueden ser factibles de realizar cuando las restricciones que las afectaban hayan desaparecido.

## **Análisis global**

De la información existente en el sistema se puede obtener oportunamente la rentabilidad de la inversión pública en algunos sectores y para un año determinado; información que puede ser usada para los efectos de definir tanto la estructura del gasto fiscal deseada en dichos sectores como el nivel y composición del financiamiento requerido.

## **Medio de coordinación e información**

El uso de un banco de proyectos permitirá a los usuarios coordinar su acción en el sentido que, cualquier duplicidad, complementariedad o sustituibilidad de

proyectos podrá ser detectada mediante un chequeo previo, utilizando para ello los listados adecuados.

## **Estandarización del lenguaje**

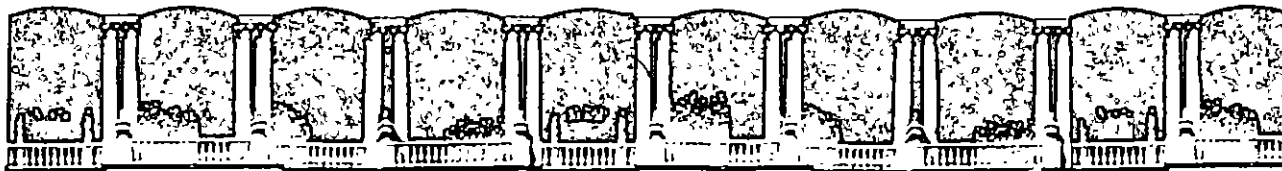
El funcionamiento de un banco de proyectos requiere una estandarización previa de todos los términos y conceptos empleados, tal sistematización facilita la comunicación y coordinación entre las unidades participantes en el proceso de gestión de la inversión pública.

## **Sistema de archivo**

Un banco de proyectos permitirá a sus usuarios la disponibilidad de un archivo histórico de las variables que influyen sobre las decisiones de inversión pública. Este archivo puede ser usado como fuente de consulta básica para cualquier análisis sobre esta materia, ya que el sistema debe permitir la extracción y ordenamiento por variable de la información contenida.

## **Agrupación de información**

Un banco de proyectos debe permitir definir cualquier agrupación de información de acuerdo a las características, condiciones o estados deseados de cada variable. El sistema debe poseer la flexibilidad para definir conjuntos por proyecto y conjuntos de acuerdo a etapas y a características de proyectos, obteniendo como resultado reportes o listados.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

D I P L O M A D O

PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS

MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS

**EVALUACION ECONOMICA PROYECTO FERROBUS**

**LINEA MENDOZA - LUJAN**

S I N T E S I S

Palacio de Minería

1995

**JORNADAS  
DE CIENCIAS  
ECONOMICAS  
1990**

**JORNADAS  
1990**

**EVALUACION ECONOMICA PROYECTO FERROBUS  
LINEA MENDOZA - LUJAN. UNA SINTESIS**

por

**Roberto Cortegoso  
Profesor Titular de  
Análisis Económico de Proyectos II**

y

**Coloma Ferra  
Profesora Titular de  
Análisis Económico de Proyectos I**

y

**Hugo Roberto Balacco  
Profesor Titular de  
Econometría I**

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la evaluación económica de la incorporación del transporte ferroviario en el sistema de transporte urbano del Gran Mendoza.

La evaluación se hace desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto. Este enfoque significa que la aceptación o rechazo del proyecto tiene en cuenta si la sociedad mendocina se encuentra mejor o peor, desde el punto de vista económico, al decidir la ejecución del proyecto frente a la opción de no hacerlo.

Si bien no ha sido objetivo del presente estudio analizar la optimización integral del sistema de transporte urbano del Gran Mendoza, los resultados de la evaluación económica del Ferrobús deben compararse con la rentabilidad de proyectos alternativos, para seleccionar los mejores a incluir en el sistema de transporte.

Los resultados obtenidos en los análisis de rentabilidad y de sensibilidad del proyecto Ferrobús sugieren las principales conclusiones que se obtienen en este estudio de prefactibilidad económica.

Como se analiza en el trabajo, la baja rentabilidad obtenida se debe principalmente a la falta de integración de este medio de transporte con los ya existentes, en el análisis de simulación del sistema de transporte.

La sugerencia principal de estos resultados es que la incorporación del Ferrobús al sistema de transporte urbano no debe ser descartada desde el punto de vista económico.

Para analizar la factibilidad económica del proyecto, el Ferrobús debe ser considerado como un medio de transporte complementario de los ya existentes. Esto implica compatibilizar las decisiones de la incorporación del nuevo medio de transporte con el diseño de los itinerarios de los medios preexistentes, micro-ómnibus y trolebús.

Esta forma de enfrentar el problema adquiere particular relevancia cuando el mismo gobierno provincial es quien debe tomar las decisiones referentes a la incorporación del Ferrobús y al diseño de recorridos de los otros medios de transporte.

# EVALUACION ECONOMICA PROYECTO FERROBUS - LINEA MENDOZA-LUJAN

## Una síntesis \*

por Roberto Cortegoso, Coloma  
Ferrá y Hugo R. Balacco  
Profesores titulares del  
Departamento de Economía

### A. DEFINICION DEL PROYECTO

El sistema de transporte urbano del Gran Mendoza incluye distintos medios, entre los cuales cabe mencionar: micro-ómnibus, trolebuses, taxímetros y medios particulares.

En la década de los setenta se incorporó en la línea Mendoza-Luján de Cuyo un servicio de transporte urbano con el material ferroviario tradicional. Este servicio dejó de prestarse en 1975 y no ha sido posible consultar los antecedentes del mismo. Sin embargo es razonable suponer que el uso de locomotoras diesel tradicionales no se adaptó a las necesidades de un transporte urbano de recorridos cortos.

El total de pasajeros transportados diariamente por la red total de transporte ascendía, en 1986, a 416.792. El dato se obtuvo de la Encuesta de Transporte del Gran Mendoza, llevada a cabo en ese año por la Dirección de Transporte de la Provincia.

La idea de incorporar el ferrocarril al sistema de transporte urbano se basa en dos elementos principales. Por un lado la industria ha incorporado la producción de coches livianos adaptables al transporte urbano de corta distancia, con lo cual se eliminan los inconvenientes que tuvo la experiencia anterior.

Además, la línea Mendoza-Luján en la mayor parte de su recorrido se encuentra actualmente fuera de operación por parte de Ferrocarriles Argentinos. El estado de conservación de la infraestructura es adecuado para la utilización de los coches livianos, de acuerdo a los informes técnicos disponibles, previa realización de determinadas inversiones.

Como consecuencia de lo anterior, se ha generado el proyecto Ferrobús, que consiste en la incorporación del servicio de transporte urbano por ferrocarril en la línea Mendoza-Luján de Cuyo, mediante el uso de coches motores livianos. La longitud de la línea es de 18,5 Km.

La utilización de la infraestructura ferroviaria por terceros está prevista por parte de Ferrocarriles Argentinos, que se haría cargo del mantenimiento de la infraestructura ferroviaria mediante el pago de un canon.

-----  
(\* Estudio realizado en virtud de un Convenio entre el Ministerio de Obras y Servicios Públicos de Mendoza y la Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas (U.N.de Cuyo).

Las estaciones previstas por la Dirección de Transporte de la Provincia de Mendoza son las ocho siguientes: Estación Mendoza (Belgrano/J.B. Justo), Apeadero Tecnológica, Apeadero Carrodilla, Apeadero Besares, Apeadero Almirante Brown, Estación Drumond, Apeadero Carril San Martín y Estación Luján de Cuyo.

Para la evaluación del proyecto Ferrobús se han considerado los efectos económicos que produce la incorporación del ferrobús en el sistema de transporte urbano del Gran Mendoza, desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto. Este enfoque significa que la aceptación o rechazo del proyecto tiene en cuenta si la sociedad mendocina se encuentra mejor o peor, desde el punto de vista económico, al decidir la ejecución del proyecto frente a la opción de no hacerlo.

Se considera como situación sin proyecto la prestación actual del sistema de transporte público, en el cual se incluyen sólo los sistemas de micro-ómnibus, trolebuses y conexiones peatonales. Para los otros medios, automóviles particulares y taxímetros, no se cuenta con información suficiente para su incorporación en este análisis.

La situación con proyecto surge de incorporar el ferrobús en el sistema de transporte urbano, sin incluir cambios en los recorridos de los otros medios de transporte considerados.

Dado que la duración de los coches que serían utilizados por el proyecto es de 30 años, se ha considerado ese lapso como vida útil del proyecto. Todos los valores utilizados corresponden a australes de diciembre de 1988.

## **B. METODOLOGIA DE EVALUACION**

### **1. Elección del modo de viaje**

La decisión del usuario sobre qué medio de transporte va a utilizar para realizar un determinado viaje, supone comparar las alternativas disponibles teniendo en cuenta no sólo los costos monetarios del viaje, sino también características tales como velocidad, seguridad, comodidad, confiabilidad, espera, etc. Si se asignan valores monetarios a esas características, se puede cuantificar cuál es el costo generalizado de un viaje para un usuario a través de un determinado medio de transporte. De esta forma el usuario elige el medio que le representa un menor costo generalizado.

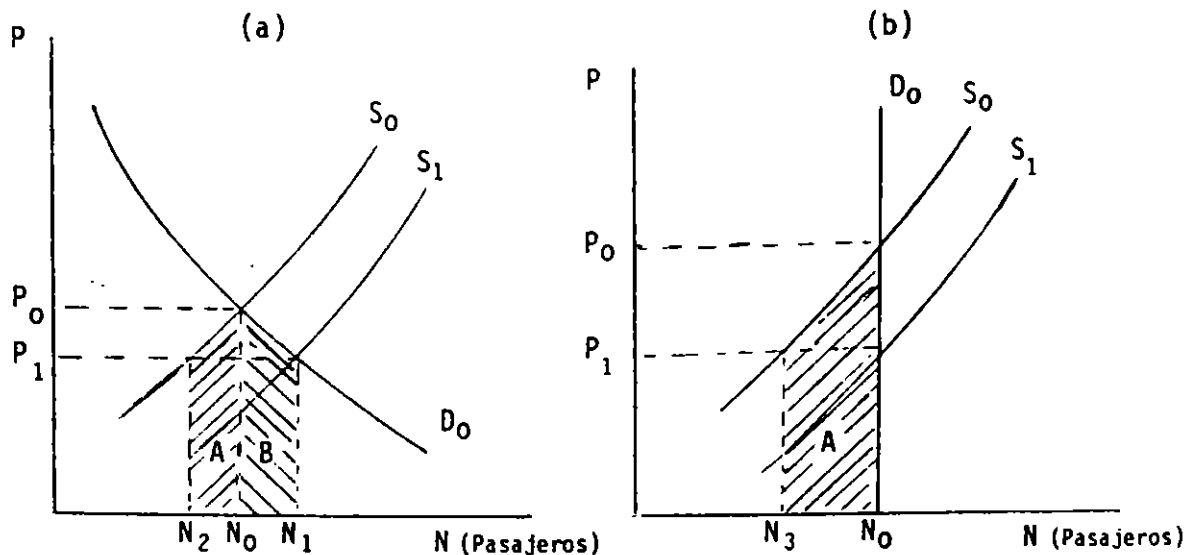
El usuario que se transfiere de un medio de transporte a otro lo hace, desde el punto de vista económico, teniendo en cuenta el cambio en el costo generalizado de viaje (costo monetario, tiempo, seguridad, y/o comodidad).

Sin embargo, desde el punto de vista social las tarifas son sólo transferencias, ya que lo que paga el usuario es un costo para él y un beneficio (ingreso) para la empresa de transporte. El beneficio social que se obtiene por el hecho de que un usuario sustituya un medio de transporte por otro es el ahorro de recursos productivos debido a ese reemplazo.

## 2. Evaluación social

La incorporación del ferrobús en el sistema de transporte del Gran Mendoza puede generar una captura de pasajeros por este medio de transporte por dos motivos: sustitución y aumento del número de pasajeros transportados.

Gráfico 1



En el mercado de transporte se puede ver que la situación sin ferrobús está dada por una demanda  $D_0$  y una oferta  $S_0$  (gráfico 1.a). El equilibrio del mercado se da con una tarifa  $P_0$  y una cantidad  $N_0$  de pasajeros transportados por unidad de tiempo. La incorporación del ferrobús puede simularse agregando horizontalmente a  $S_0$  la cantidad de pasajeros que transportaría el ferrobús. Así se obtiene una curva  $S_1$ , paralela a  $S_0$ . El nuevo punto de equilibrio estaría en  $P_1$  y  $N_1$ , donde el número total de pasajeros es  $ON_1$ , y el captado por el ferrobús es  $N_1 - N_2$ , del cual  $N_0 - N_2$  es debido al efecto sustitución y  $N_1 - N_0$ , es el efecto incremento del número de pasajeros.

Por el efecto sustitución existe un beneficio debido a la liberación de recursos, que pueden valorarse económicamente por el área bajo  $S_0$ , entre  $N_2$  y  $N_0$  (área A). Los beneficios por el incremento en el número de pasajeros, se miden por el área bajo la curva de demanda, entre  $N_0$  y  $N_1$  (área B).

A los efectos de la estimación, se supondrá que no existe incremento del número de pasajeros, o sea que la demanda de

transporte público de pasajeros tiene elasticidad igual a cero. Sería una situación como la del gráfico i.b, donde todo el beneficio es liberación de recursos.

Esa liberación de recursos se refiere tanto al tiempo de viaje como a inversiones en material rodante y a los costos de operación y mantenimiento en que se deja de incurrir. Todos esos recursos liberados tienen usos alternativos, y por ello su valor es un beneficio atribuible al proyecto ferrobús.

Por otra parte, para transportar a los pasajeros que viajarían en ferrobús, se debe incurrir en costos tales como tiempo de los usuarios, inversiones y costos de operación.

A continuación se enumeran los beneficios y los costos que debieran tenerse en cuenta para efectuar la evaluación del proyecto.

#### a) Beneficios sociales

Los beneficios sociales que teóricamente se pueden atribuir al proyecto Ferrobús son:

- 1) Ahorro de tiempo para sus usuarios y para otras personas.
- 2) Ahorro de recursos por menores costos de operación e inversión en medios de transporte alternativos.
- 3) Descongestión de vías de circulación alternativas:
  - a. Ahorro de tiempo para los viajeros.
  - b. Disminución de accidentes.
- 4) Postergación de inversiones en infraestructura.
- 5) Menor riesgo de accidentes.
- 6) Mayor comodidad.
- 7) Menor contaminación.

Dada la disponibilidad de información, en este estudio sólo se han de cuantificar económicamente los beneficios correspondientes al ahorro de tiempo de viaje y la liberación de recursos en los medios de transporte alternativos. Sin embargo, se harán algunas consideraciones en relación a los beneficios no cuantificados.

#### b) Costos sociales

Los costos sociales corresponden a la asignación de recursos necesarios para poner en funcionamiento y operar el Ferrobús.

Es necesario incurrir en costos de inversión, operación y mantenimiento. Debe destacarse que la infraestructura de vías existentes puede ser utilizada por el Ferrobús.

Si bien la propiedad de la vía es de Ferrocarriles Argentinos y puede exigir un precio o canon por su uso y manteni-



miento, desde el punto de vista social interesa determinar cuál es el uso alternativo de ese recurso, actualmente ocioso en su mayor parte. A los efectos de este estudio, se supondrá que el canon refleja el costo de oportunidad del uso de la infraestructura.

#### c) Fuentes de información

Para estimar los beneficios y costos mencionados anteriormente, ha sido necesario obtener información de distinto tipo.

Los parámetros básicos del sistema global de transporte público de pasajeros, para las situaciones con y sin proyecto, tales como cantidad de pasajeros-día en cada sistema, parque móvil, promedio de tiempo de viaje, pasajeros-kilómetro por año, etc., surgen del Modelo de Asignación Micronet, utilizado por la Dirección de Transporte.

Para cuantificar el ahorro de recursos debido a los menores costos de inversión y operación en los medios de transporte alternativos, micro-ómnibus y trolebus, se ha utilizado el estudio de la Dirección de Transporte "Evaluación de costos del Servicio de Transporte Colectivo". Este estudio tiene en cuenta las características de equipos y operación del transporte por micro-ómnibus en el Gran Mendoza.

Para determinar los costos de inversión y operación del Ferrobús se han consultado dos fuentes principales: firmas proveedoras de equipos y Ferrocarriles Argentinos.

#### d) Evaluación del proyecto

Tanto los costos como los beneficios del proyecto surgen de comparar las situaciones con y sin proyecto.

La evaluación social del proyecto ferrobús es la que resulta de tener en cuenta los beneficios y costos sociales. Una vez estimados éstos, se obtendrán indicadores de rentabilidad, tales como valor actual neto del flujo de beneficios netos y la tasa interna de retorno. A los efectos de tener un panorama más amplio de los resultados, se hará análisis de sensibilidad con algunas variables.

### 3. Evaluación privada

Dado el enfoque adoptado en este análisis, si el proyecto resulta rentable desde el punto de vista social, corresponde estudiar la factibilidad desde el punto de vista privado.

Este enfoque toma en cuenta los costos del proyecto, inversión y operación, frente a la recaudación que es posible obtener.

## C. ESTIMACION DE PARAMETROS BASICOS

### 1. Información utilizada

Para estimar la demanda de transporte que enfrenta el proyecto Ferrobús, se ha utilizado básicamente la información obtenida de la simulación de la operación del sistema de transporte urbano del Gran Mendoza.

La Dirección de Transporte de la Provincia realizó en 1986 una "Encuesta de Transporte del Gran Mendoza" entre los usuarios del sistema de transporte urbano, lo que permitió generar una matriz de viajes según origen y destino.

Al superponer la información de esta matriz con los recorridos actuales de los medios de transporte colectivo, micro-ómnibus y trolebús, se pudo aplicar el modelo de computación Micronet que permite definir cuáles son los medios de transporte elegidos por los usuarios.

Este modelo necesita de tres archivos de datos: el sistema de recorridos de los distintos medios de transporte, la red de transporte codificada por nodos, y la matriz de viajes según origen y destino. Con estos datos iniciales y la incorporación de ciertos parámetros de cálculo, el modelo opera produciendo una serie de resultados tales como: características de la oferta y de la demanda del sistema de transporte, la carga de pasajeros en cada recorrido, frecuencias, tiempos de viajes, relación pasajero-kilómetro y coche-kilómetro, etc.

El modelo de asignación, con la información que se le proporciona, busca las diversas rutas que se pueden seguir para unir cada origen con cada destino, y luego asigna la ruta de acuerdo con un criterio preestablecido.

La búsqueda de la ruta y la asignación las realiza el modelo en función de los caminos de menor tiempo total de viaje, que incluye no sólo el tiempo viajando sino también los tiempos de espera, trasbordo y caminata.

Para simular la situación con proyecto, se ha incorporado el sistema ferrobús. Este considera el ferrobús que une la estación Mendoza con la de Luján de Cuyo. Para ello fue necesario modificar el sistema peatonal a los efectos de obtener conexiones entre los centroides (centros geográficos de barrios o subzonas) y el recorrido del Ferrobús. Es importante destacar que no hubo posibilidad de realizar conexiones del sistema de micro-ómnibus y trolebuses con el del ferrobús. La existencia de esas conexiones posibilitarían los trasbordos entre sistemas y permitirían disminuir los tiempos de viaje.

Con relación al sistema micro-ómnibus, se modificó la frecuencia del actual recorrido troncal de la línea 20,

pasándola de 8 minutos a 15 minutos para hacerla compatible con la frecuencia propuesta del Ferrobús.

Los parámetros básicos aparecen en el cuadro 1.

## 2. Limitaciones de la información

Como ya se explicó, la situación sin proyecto consiste en la prestación actual de la red de transporte público de pasajeros. Por otra parte, para obtener la situación con proyecto se ha introducido el ferrobús en el sistema global, pero solo a través de conexiones peatonales. Esto implica que no se han modificado los recorridos del sistema micro-ómnibus. Si esto se hiciera, tendería a facilitar la llegada de los usuarios hasta las estaciones del ferrobús.

Este criterio constituye una restricción muy fuerte al limitar las alternativas de conexión que se deben considerar en la evaluación económica y técnica del proyecto.

Sin embargo no ha sido posible considerar otras alternativas mediante el uso del modelo Micronet, dadas las restricciones operativas del personal especializado del Departamento de Planificación de la Dirección de Transporte.

Por lo tanto las conclusiones de este trabajo deben aceptarse teniendo en cuenta sus limitaciones. Si bien no ha sido objeto del presente estudio analizar la optimización integral del sistema de transporte urbano del Gran Mendoza, los resultados de la evaluación económica del Ferrobús deben compararse con la rentabilidad de proyectos alternativos, para seleccionar los mejores a incluir en el sistema de transporte.

En definitiva las situaciones que se deberían comparar para determinar la factibilidad económica del proyecto son el sistema optimizado sin ferrobús versus el sistema optimizado con ferrobús. Con esos resultados se puede determinar si conviene o no incorporar el ferrobús.

Dadas las restricciones de información, ya señaladas, en la simulación del sistema de transporte urbano con el modelo Micronet, podemos decir que el proyecto que se evalúa en este informe es la decisión de "incorporar el proyecto ferrobús en el sistema de transporte preexistente, sin vinculaciones adicionales con otros medios de transporte".

## D. ESTIMACION DE BENEFICIOS

Los datos para estimar los beneficios y los costos del proyecto aparecen en el cuadro 1 y las estimaciones en el cuadro 2.

## 1. Material rodante liberado

Para medir la liberación de recursos de las inversiones evitadas en material rodante en transporte colectivo es necesario tener en cuenta los siguientes factores: Número de unidades (micros) liberadas, valor de las unidades inicialmente liberadas, antigüedad de las unidades liberadas, vida útil de las unidades nuevas y valor residual de las unidades.

Para estimar el número de unidades liberadas se pueden usar métodos alternativos, en función de la información disponible.

En la prestación del servicio de transporte por micro-ómnibus es posible identificar variables que influyen sobre la magnitud del parque móvil (número de ómnibus) necesario para la prestación del servicio. Algunas de ellas son: pasajeros transportados (pasajeros o pasajeros-kilómetro), longitud del recorrido, frecuencia del servicio, capacidad unitaria (pasajero/coche), longitud del viaje promedio.

En esta primera evaluación se supondrá que el número de pasajeros captado anualmente por el ferrobús permanece constante a través del tiempo, o sea que es igual al originalmente sustituido.

Aún con ese supuesto, el beneficio por liberación de parque móvil no es solo el correspondiente a las unidades liberadas inicialmente. En efecto, también se evitarían las reposiciones futuras de esas unidades.

La antigüedad de las unidades liberadas afecta el flujo de beneficios en dos formas distintas. Cuanto más antiguos sean los vehículos liberados, menor será su valor y en consecuencia, menor el beneficio por su liberación en el momento cero del proyecto. Por otro lado, cuanto mayor sea la antigüedad de los vehículos liberados, más próximas en el tiempo se encuentran las reposiciones que se evitarán debido a la existencia del ferrobús.

A partir del beneficio por las unidades liberadas inicialmente, las sucesivas reposiciones de dichas unidades se producen a intervalos regulares de tiempo e iguales a la vida útil de las unidades nuevas. Estas inversiones se computan durante la vida útil del proyecto ferrobús.

Al finalizar la vida útil de las unidades se puede considerar un valor residual positivo o nulo. Ese valor residual depende de si existen usos alternativos para esos vehículos o no. Al computar las reposiciones de las unidades, debe deducirse ese valor residual, ya que la diferencia es la inversión neta evitada por la presencia del ferrobús.

Al comparar el sistema de transporte urbano con y sin ferrobús se observa que para el mismo volumen de pasajeros transportados (416.792 pasajeros-día), la introducción del ferrobús libera 65 unidades de micro-ómnibus. Esto surge de comparar los resultados que arroja el "Micronet" en ambas versiones.

Este resultado es compatible con el supuesto de que la cantidad de micro-ómnibus es proporcional al número de pasajeros-kilómetro transportados en ese sistema. Si se supone, en cambio, que esa cantidad es proporcional al número de pasajeros, el resultado es que se liberarían solamente 35 unidades de micro-ómnibus. En una primera estimación se supondrá que se liberan 65 unidades como consecuencia de la introducción del ferrobús.

Con respecto a la vida útil de los micro-ómnibus, los distintos antecedentes consultados coinciden en una vida útil de 10 años con un valor residual entre 0 y 12% de la inversión inicial. Se adopta este último valor residual, lo cual es una posición pesimista en la estimación de este beneficio.

Después de un análisis detallado del tema antigüedad, se optó por suponer que los vehículos liberados inicialmente tienen una distribución de antigüedades uniforme (antigüedades desde 0 a 9 años). El beneficio por este concepto, actualizado al momento cero, resulta ser de A 111.353.937.

## 2. Costos operativos evitados

La reducción de costos de funcionamiento de los medios de transporte (debida a la reducción del parque móvil) se encuentra relacionada con dos variables: a) kilómetros recorridos y b) número de vehículos (parque móvil).

Los costos que están relacionados con los kilómetros recorridos son los referidos a: combustibles, lubricantes, cámaras y cubiertas, reparaciones y alistamiento.

Los costos que dependen del número de vehículos son los relativos a personal de conducción, seguros, desinfección y revisión técnica.

Para determinar los costos unitarios que dependen de cada una de las variables mencionadas se utiliza la información suministrada por la Dirección de Transporte del Ministerio de Obras y Servicios Públicos, en el estudio "Evaluación de costos del servicio de transporte colectivo". En dicho estudio para cada ítem de costo se especifica el precio unitario, el consumo en unidades y la frecuencia con que ocurre. Esta última se mide en kilómetros recorridos o en periodos de tiempo. Para el primer caso se obtiene el costo por kilómetro mientras que en el segundo se obtiene un costo por unidad de parque móvil para un período de tiempo, por ejemplo un año.

A los efectos de encontrar el beneficio anual en concepto de liberación de recursos, el costo por kilómetro se multiplica por la cantidad de kilómetros que dejan de recorrer los otros medios de transporte, y el costo por unidad de parque móvil, por la cantidad de vehículos liberados. En el primer caso resulta ser de A 16.800.819 y el segundo de 11.670.107.

### 3. Ahorro de tiempo de viaje

Uno de los beneficios del proyecto es el ahorro de tiempo de viaje, tanto de quienes elegirían viajar en ferrobús como de los otros usuarios del transporte público de pasajeros.

Por una parte, el ferrobús opera a velocidades promedio superiores a los micro-ómnibus; o sea que quienes decidan viajar en ferrobús captarán un ahorro de tiempo de viaje. Pero por otra parte, se supone que la frecuencia de los micro-ómnibus va a disminuir debido a que algunos de ellos serían desplazados; en consecuencia, los pasajeros que seguirían usando el mismo sistema de transporte, verían incrementado su tiempo total de viaje. Lo que interesa en definitiva es el neto resultante.

El tiempo total de viaje incluye: tiempo viajando (en el medio de transporte), tiempo de espera (en la parada), tiempo de trasbordo (entre los recorridos afectados) y tiempo andando (desde el origen hasta la parada y desde la última parada hasta el destino).

La información en cuanto a tiempo por viaje promedio, para esas personas, surge como resultado de aplicar el "Micronet" a las situaciones con y sin proyecto. El resultado es que el promedio de tiempo de viaje (por pasajero y por día) con proyecto supera al promedio sin proyecto en 0,15 minutos. De allí se obtiene la diferencia total anual (en minutos).

En consecuencia, el ahorro resultante es negativo, es decir que, para el total de pasajeros que usan el transporte público, la introducción del ferrobús ocasiona un aumento en el tiempo total de viaje. Esto tiene su explicación en lo siguiente.

El modelo Micronet asigna pasajeros a cada sistema de transporte, según el criterio de minimización de tiempos de viaje. Por lo tanto, se puede afirmar que hay una disminución de tiempo de viaje para los pasajeros que viajarían en ferrobús. Pero por otro lado existe un aumento del tiempo de viaje para los usuarios de micro-ómnibus que se mantienen en ese sistema, debido a la disminución de la frecuencia de la línea 20, de 8 a 15 minutos.

Es importante destacar que este resultado no necesariamente coincide con lo que ocurriría en caso de concretarse el proyecto ferrobús. En efecto, al incluir el ferrobús en el

modelo de asignación "Micronet", se modificó el sistema peatonal para obtener conexiones entre centroides y el recorrido del ferrobús. Pero, según el informe de la Dirección de Transporte, no se realizaron conexiones del sistema de micro-ómnibus y trolebuses con el del ferrobús. En consecuencia, no se logró la precisión deseada en los valores de las variables que afectan el estudio. Tales conexiones entre sistemas mejorarían los tiempos de viaje y posibilitarían los trasbordos entre los otros sistemas y el ferrobús.

Con respecto al valor unitario del tiempo de viaje, no existen estudios completos para la Argentina ni para la zona del proyecto. En consecuencia, se ha optado por usar criterios recomendados en otros países, aplicados a los datos de ingresos familiares provenientes de la Encuesta Permanente de Hogares del Gran Mendoza, que se realiza cada seis meses.

En definitiva, se opta por considerar como valor de la unidad de tiempo, el 43% del ingreso promedio por trabajador, correspondiente a los 2 estratos socio-económicos más bajos de la población (que está dividida en cuatro estratos). Como estimación alternativa, se tomaron los 3 estratos más bajos.

El resultado es un beneficio negativo de A - 3.880.104.

## E. COSTOS DE INVERSION

Los costos de inversión en material rodante e infraestructura han sido estimados a partir de la información suministrada por Materfer, una empresa proveedora del material rodante.

Es conveniente aclarar que no ha sido posible obtener información relativa a ciertos costos que en principio serían afrontados por Ferrocarriles Argentinos. En este caso, se supone que estos costos serán recuperados por Ferrocarriles a través del canon que le cobre a la empresa prestataria del servicio de ferrobús.

### 1. Material rodante

La determinación del material rodante a adquirir se ve afectada por diversos factores, los más importantes de los cuales son: a) frecuencia de servicio, b) tiempo que demora un ferrobús en dar la vuelta completa (ida y vuelta a Luján), c) pasajeros a transportar en cada período (punta y fuera de punta), d) curva de carga, es decir, la cantidad de pasajeros que viajan entre cada par de estaciones sucesivas, e) capacidad de cada unidad.

Salvo el último factor, que es un dato, los otros son variables relacionadas entre sí.

Además, teóricamente pueden adoptarse diversos criterios para determinar el parque que va a satisfacer la demanda (que a su vez puede suponerse constante o creciente a través del tiempo).

Uno de los criterios consiste en comprar el material rodante necesario para cubrir totalmente el volumen de pasajeros estimado para la hora punta en el tramo más cargado. Por razones de simplicidad, este es el criterio adoptado en este trabajo.

Se hacen los siguientes supuestos simplificatorios: a) Se mantiene constante la frecuencia de servicio cada 15 minutos y lo que varía es la cantidad y tipo de unidades que conforman cada ferrobús; b) Se mantiene la estructura tarifaria; c) Es posible la adquisición unitaria de unidades; d) El total de pasajeros transportados en el periodo de punta se distribuye uniformemente dentro de él; e) Los pasajeros que utilizarían el ferrobús se distribuyen a lo largo del día en la misma forma que el total de pasajeros que utilizan el transporte público en el Gran Mendoza.

Existen varios modelos básicos de Coche Motor Liviano y diversas formaciones posibles. En función de la información disponible, por simplicidad se hará la evaluación para la formación "motriz-motriz", o sea dos coches motrices.

Se determina en primer lugar, la cantidad de unidades (coches) necesarias compatibles con el supuesto adoptado. Además, hay que tener en cuenta que es necesario mantener una reserva de unidades para eventuales fallas, reparaciones y mantenimiento.

El número de unidades en servicio será igual a la cantidad de pasajeros en hora punta en el tramo más cargado multiplicado por el tiempo requerido por un ferrobús para dar la vuelta completa, expresado en horas, dividido por la capacidad de cada unidad (coche), con pasajeros sentados y parados.

Se conoce la distribución de pasajeros del transporte público en el Gran Mendoza, según la hora en que viajan. El porcentaje de pasajeros que viaja en la hora punta es de 9,91%, el cual se aplica a los datos de distribución de carga diaria del ferrobús entre estaciones. El tramo con mayor carga de pasajeros se observa entre los apeaderos Tecnológica y Carrodilla.

El número de coches necesario es de 7,44, el cual se satisface con 4 trenes de dos coches cada uno. Se agregan 2 coches de reserva. El costo total es de A 122.000.000 en el momento cero.



## 2. Infraestructura

Las obras de infraestructura que serían necesarias para el funcionamiento del ferrobús son las siguientes: reparación de puentes y obras civiles y barreras, señalización, estaciones, edificios, terrenos e instalaciones, y comunicaciones (tren/tren y tren/tierra). El costo por estos conceptos es de A 8.656.115.

Según la empresa proveedora de los coches motores, estos coches pueden circular sin inconvenientes sobre vías con mantenimiento deficiente o nulo, debido a sus condiciones de liviandad. El tramo Mendoza-Luján se encuentra en buenas condiciones de utilización, salvo pequeñas limpiezas o desmalezamiento y asegurado de durmientes, sin inversiones de importancia. De todos modos, estos costos estarían a cargo de Ferrocarriles Argentinos, incluidos en el canon.

## F. COSTOS DE OPERACION

### 1. Costos de personal

Para la organización de la empresa que tendrá a su cargo la administración del servicio de ferrobús, se han tomado como base las sugerencias dadas por Materfer y la organización de una empresa tipo de transporte público de pasajeros.

Se distinguen dos tipos de funciones básicas, tráfico y administración, coordinadas por un gerente general. Del gerente general dependen también dos asesores, uno contable y otro jurídico.

En el caso de choferes, guardas, expendedores de boletos y guarda barreras (para las barreras no automáticas), la estimación tiene en cuenta que el ferrobús funcionaría 19 horas al día, lo cual implica el 80% de un día completo de tres turnos de 8 horas cada uno. Por otra parte, se agrega un 20% como reemplazantes para casos de licencias, vacaciones, etc. De esta forma, el personal a contratar es el que requerirían tres turnos de ocho horas cada uno.

Las estimaciones de personal dan el siguiente resultado: 12 choferes, 24 guardas, 24 expendedores de boletos, 57 guarda barreras y 11 personas con cargos varios. El total es de 128.

El costo anual de ese personal es de A 7.265.592.

### 2. Reparaciones de material rodante

La reparación de material rodante es un costo que está relacionado con el kilometraje recorrido por los trenes.

El estudio de Materfer proporciona en forma aproximada

los costos de reparaciones anuales de material rodante en precios de agosto de 1987. Para actualizar esos costos a precios de diciembre de 1988 se utiliza el índice de precios mayoristas no agropecuario. Los costos están definidos en australes por kilómetro de coche motriz.

Las reparaciones incluyen materiales, mano de obra, conservación y reposición de ruedas, lubricantes, aceite de caja, engrase y lavado.

Si se considera el caso de la formación del tren con dos coches motrices, el costo de reparaciones por tren asciende a A 17,46758/Km.

El kilometraje recorrido por el conjunto de trenes es de 740.000 kilómetros/año, número que multiplicado por el costo/km, resulta en un costo anual de A 12.926.009.

### 3. Combustible

El consumo de combustible (diesel oil) se obtiene de la información proporcionada por Materfer.

En la simulación del recorrido Mendoza-Luján-Mendoza del tren motriz-motriz se obtiene un consumo de diesel oil de 46,219 litros para una distancia de 36,3 kms. Con estos valores se obtiene un consumo promedio de 1,27325 litros/km.

Con el kilometraje anual determinado en el programa Micronet, 740.000 Kms, y considerando el precio de A 3,0283/litro para el diesel oil, se obtiene un costo anual de A 2.853.279.

### 4. Otros costos

Es necesario también tener en cuenta otros costos de menor cuantía, tales como los de papelería, servicios (luz, gas, teléfono) y uniformes del personal de tráfico.

Se ha tomado como base para su estimación, lo imputado por tales conceptos para una empresa de micro-ómnibus, que resulta ser de A 321.222 por año.

### 5. Prestación de servicios por parte de FFCC (Canon)

Se intenta incluir en este punto una valuación de los servicios que prestaría Ferrocarriles Argentinos a la empresa prestataria del servicio de ferrobús.

Básicamente se pueden distinguir los siguientes servicios: adecuación y mantenimiento de la vía férrea, custodia del material rodante, uso de la vía férrea, control de inspección e inspección del material rodante.

Según información obtenida de Ferrocarriles Argentinos, por la adecuación, mantenimiento y uso de la vía férrea, FFCC cobra el siguiente canon: A 177.654 anuales y A 7.749 mensuales por coche, en moneda de diciembre de 1988. Esto suma A 270.642 anuales por coche. Teniendo en cuenta que los coches en funcionamiento serían 8 (cuatro trenes de dos coches cada uno), el costo anual por este concepto sería de A 2.165.136.

Con respecto a los costos de inversión en los desvíos de cruce, no ha sido posible obtener información. Por lo tanto, en este estudio se supone que es un costo incluido en el canon a cobrar por Ferrocarriles Argentinos. Esto puede implicar una subestimación de los costos del proyecto, que habría que considerar en un probable estudio de factibilidad.

## **G. EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO (\*)**

En el cuadro 1 se sintetiza la información que se utiliza para la evaluación económica del proyecto y que surge de las secciones anteriores.

### **1. Estimación de beneficios y costos del proyecto**

En la determinación de los datos básicos fue necesario considerar dos valores alternativos para el valor de la hora de viaje y para la inversión en infraestructura. De esta forma se pueden generar dos alternativas límites para la evaluación económica. En este resumen solo se presenta la alternativa 1 (optimista).

En el cuadro 2 se resumen los beneficios y costos. En la primera columna de valores aparecen los beneficios y costos que están expresados en términos de valores actuales, mientras que en la segunda columna aparecen los valores que se repiten anualmente.

### **2. Análisis de rentabilidad del proyecto**

Todos los resultados obtenidos se refieren a la evaluación del proyecto desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto. Dada la baja rentabilidad, se ha considerado que en este nivel del estudio no corresponde efectuar un análisis de rentabilidad desde el punto de vista privado, puesto que mientras no se demuestre que a la provincia de Mendoza le conviene llevar adelante el proyecto, no interesa saber si privadamente es o no rentable.

En el mismo cuadro 2 se obtiene el valor actual neto (VAN), considerando una tasa de descuento del 8% anual. Los resultados indican que el proyecto es no rentable.

-----  
 (\*) Los autores agradecen al Cont. Daniel Sanz su colaboración en las tareas de computación de esta sección.

En el gráfico 2 se observa cómo se comporta el VAN ante distintos valores de la tasa de descuento. La TIR para la alternativa I toma un valor de 3,25% anual, valor que puede considerarse muy bajo, principalmente para países en vías de desarrollo.

### 3. Análisis de sensibilidad

Para analizar el comportamiento de la rentabilidad del proyecto ante cambios en ciertos parámetros, se han seleccionado tres de ellos: 1) Ahorro de tiempo de viaje; 2) Ahorro en kilometraje recorrido y 3) Parque móvil liberado.

#### a) Ahorro de tiempo de viaje

Anteriormente se destacó lo llamativo de los resultados del estudio de simulación, ya que la incorporación del ferrobús, en lugar de disminuir, aumentó el tiempo de viaje promedio del pasajero/día del sistema.

En el cuadro 3 se puede ver cómo afecta este parámetro a la rentabilidad del proyecto. Por ejemplo, cuando el ahorro de tiempo de viaje no existe, valor 0.00, a la tasa del 8% anual, el VAN del proyecto tiene un valor positivo de A 13.792.184, e inclusive sigue siendo positivo a la tasa del 9%.

En el gráfico 3 se puede apreciar cómo cambia la rentabilidad del proyecto, medida por el VAN al 8%, al producirse un ahorro en el tiempo de viaje.

Estos resultados sugieren la importancia que tiene la estimación de este parámetro sobre la rentabilidad del proyecto.

Dadas las fuertes restricciones tenidas en cuenta en la simulación del modelo de transporte, de conformidad con estos resultados, resulta imprescindible evaluar la alternativa de incorporar el ferrobús al sistema de transporte, debidamente integrado con los demás medios. Esta definición debe ser previa, necesariamente, a cualquier decisión sobre la conveniencia o no de ejecutar el proyecto ferrobús para incorporarlo al sistema de transporte urbano de Mendoza.

#### b) Ahorro de kilometraje recorrido

La elección de este parámetro para el análisis de sensibilidad está relacionado con las consideraciones del punto anterior. El cambio de los recorridos de los otros medios de transporte, principalmente micro-ómnibus, para relacionarlos con el proyecto ferrobús, altera fundamentalmente este parámetro.

En el gráfico 4 se observa que a la tasa del 8% el proyecto se convierte en rentable cuando el ahorro de kilómetros recorridos toma valores del orden de 6,3 millones de

kilómetros/año. Si la tasa de descuento es menor, el proyecto es rentable con valores más bajos de este beneficio.

#### c) Ahorro de parque móvil

Del informe del Departamento de Planificación de la Dirección de Transporte surge que el número de unidades de micro-ómnibus liberadas es de 65. Por otra parte, con otra estimación alternativa se obtienen 35 unidades liberadas.

Por ese motivo se realiza este análisis. En el gráfico 5 se observa que si el número de unidades liberadas desciende a 40, el proyecto es aun menos rentable. A la tasa del 8% el proyecto se convierte en rentable para un número aproximado de 73 unidades liberadas.

La divergencia de las estimaciones de este parámetro y su influencia sobre la rentabilidad del proyecto, sugieren la necesidad de una mayor confiabilidad y precisión en su estimación.

#### 4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en los análisis de rentabilidad y de sensibilidad del proyecto sugieren las principales conclusiones que se pueden obtener de este estudio de prefactibilidad económica.

Como se ha mencionado oportunamente, la baja rentabilidad obtenida se debe principalmente a la falta de integración de este medio de transporte con los ya existentes.

En la simulación de la incorporación del ferrobús al sistema de transporte, el Departamento de Planificación de la Dirección de Transporte restringió significativamente la validez de los resultados de dicha simulación.

Conforme se analizó anteriormente, en la simulación no se alteraron los recorridos de los otros medios de transporte para conectarlos con el ferrobús. Esa modalidad de trabajo lleva a que no se optimice el sistema de transporte urbano en forma integral, lo cual es convalidado por los resultados obtenidos.

La sugerencia principal de estos resultados es que la incorporación del ferrobús al sistema de transporte urbano no debe ser descartada desde el punto de vista económico.

Para analizar la factibilidad económica del proyecto, el ferrobús debe ser considerado como un medio de transporte complementario de los ya existentes. Esto implica compatibilizar las decisiones de incorporación del nuevo medio de transporte con el diseño de los itinerarios de los medios preexistentes, micro-ómnibus y trolebús.

La importancia del ahorro del tiempo de viaje sobre la rentabilidad del proyecto demuestra la necesidad de aumentar la precisión en la estimación de este parámetro.

Para la optimización del sistema integral se debe considerar que el transporte ferroviario presenta una única alternativa en cuanto a elección del itinerario, dada la infraestructura ferroviaria. El transporte por micro-ómnibus, y en menor medida el trolebús, tiene mayor flexibilidad en las alternativas de itinerarios.

Esto permite considerar distintas alternativas de recorridos de estos medios de transporte, de tal forma que se complementen con el ferrobús para optimizar el sistema de transporte urbano de Mendoza desde el punto de vista de la comunidad mendocina en su conjunto.

Esta forma de enfrentar el problema adquiere particular relevancia cuando el mismo Gobierno provincial es quien debe tomar las decisiones referentes a la incorporación del ferrobús y al diseño de recorridos de los otros medios de transporte.

#### **H. CONSIDERACIONES SOBRE BENEFICIOS Y COSTOS NO CUANTIFICADOS**

Los beneficios derivados de la reducción de la contaminación ambiental como consecuencia de la sustitución de micro-ómnibus por el ferrobús no son significativos debido a que la cantidad de litros de combustible no cambia en una cantidad apreciable.

La liberación de recursos en términos de unidades móviles que transitan en calles y rutas, implica a mediano y largo plazo una postergación de inversiones en dichas calles y rutas. Sin embargo, ese beneficio ha sido considerado al menos parcialmente, debido a la existencia del impuesto al gas-oil que se usa para financiar ese tipo de obras. El diesel-oil, utilizado por el ferrobús, no está gravado con dicho impuesto.

Con respecto a accidentes de tránsito en calles y rutas debido a la sustitución de medios de transporte, no es claro que disminuyan, especialmente debido a la existencia de cruces con barreras.

El proyecto Ferrobús, al descongestionar el tránsito, disminuye el tiempo total de viaje de quienes utilizan calles, rutas y carreteras para trasladarse. Sin embargo, debe computarse como un aspecto negativo el incremento en el tiempo total de viaje como consecuencia de la probable demora frente a barreras bajas.

Por último, es necesario destacar que el ferrobús puede resultar más cómodo y confortable que el ómnibus, y este es un beneficio muy difícil de medir.

## Cuadro 1

## DATOS BASICOS DEL PROYECTO

	Unidad	Cantidad
<b>A. Datos técnicos</b>		
Disminución en parque móvil-micro	#	65.00
Disminución en parque móvil-trolebús	#	0.00
Cantidad de coches motrices ferrobús	#	10.00
Cantidad de trenes en funcionamiento	#	4.00
Cantidad de coches por tren	#	2.00
Disminución en kms. anual-micro	mill.km.	5.35
Disminución en kms. anual-trolebús	mill.km.	0.04
Disminución anual en Km (micro+trolebús)	mill.km.	5.35
Kilometraje anual-ferrobús	mill.km.	0.74
Disminución en pasajeros/día-micro	#	18945.00
Disminución en pasajeros/día-trolebús	#	1500.00
Pasajeros/día-ferrobús	#	20908.00
Disminución en tiempo de viaje	minutos	-0.15
Total pasajeros/día del sistema	#	416701.00
Cantidad de días-equivalente/año	#	318.00
<b>B. Datos para estimar beneficios</b>		
Valor de cada micro-omnibus	A	1110297.00
Costos por km./micro	A	3.12
Costos por vehículo-micro	A	179540.11
Valor de una hora de tiempo viaje (Alt. I)	A	11.71
Valor de una hora de tiempo viaje (Alt. II)	A	12.56
Valor actual liberación micro-omnibus por cada 100 australes de inversión:		Valor actual por c./100 U.M.
	Tasa	
	0.00%	A 264.00
	1.00%	A 242.70
	2.00%	A 224.14
	3.00%	A 208.00
	4.00%	A 195.05
	5.00%	A 181.70
	6.00%	A 171.01
	7.00%	A 161.60
	8.00%	A 153.47
	9.00%	A 146.26
	10.00%	A 139.90
	11.00%	A 134.27
	12.00%	A 129.27
<b>C. Datos para estimar costos de inversión</b>		
Costo por coche matriz con calefacción	A	12200000.00
Costo por coche remolque con calefacción	A	8200000.00
Inversión en señalización	A	1006525.00
Inversión en estaciones y apeaderos	A	3019575.00
Inversión en Edif.. Terr. e Inst. (Alt. I)	A	1610440.00
Inversión en Edif.. Terr. e Inst. (Alt. II)	A	3623490.00
Inversión en comunicaciones	A	3019575.00
<b>D. Datos para estimar costos operativos</b>		
Costo anual en personal	A	7265502.00
Costo reparación anual por km.coche matriz	A	6.70
Consumo de combustible por km./tren	litros	1.27
Precio del combustible (por litro)	A	0.00
Costos anuales varios	A	321202.00
Canon anual por coche en funcionamiento	A	177654.00
Canon mensual por coche en funcionamiento	A	7749.00
<b>E. Tasa de descuento utilizada</b>		
		5.00%

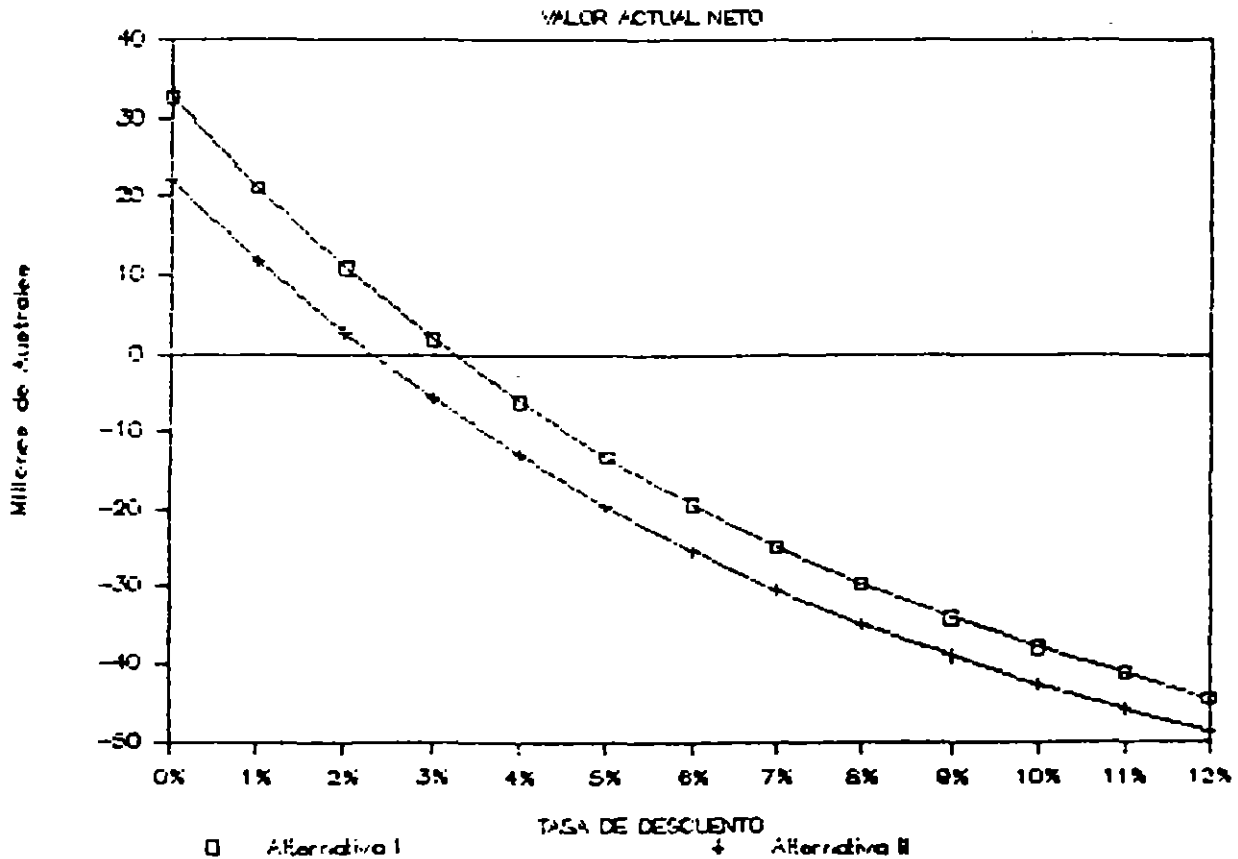
Cuadro 2

ESTIMACIONES DE BENEFICIOS Y COSTOS DEL PROYECTO. Alternativa I

DETALLE	Momento 0	Anual
<b>A. Beneficios</b>		
Material rodante liberado (tasa 8%)	111353937	
Costos operativos evitados		
- Relacionados con el kilometraje		16800819
- Relacionados con cantidad vehículos		11670107
Ahorro de tiempo de viaje		-3880104
<b>B. Costos de inversión</b>		
Inversión en material rodante	-122000000	
Inversión en infraestructura	-8656115	
<b>C. Costos operativos</b>		
Personal		-7265592
Reparaciones material rodante		-12926009
Combustibles		-2853279
Otros costos		-321222
Canon FFCC		-2165136
<b>D. Beneficios menos costos</b>	<b>-19302178</b>	
Cantidad de años considerados:	30	
Tasa de descuento utilizada :	8.00%	
Valor actual neto del proyecto:	-29889189	

Gráfico 2

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD





21.  
Cuadro 3

ANALISIS DE SENSIBILIDAD DEL PROYECTO (Valor actual: reto)

B. Tasa de descuento - Disminución en tiempo de viaje

Tasa	Minutos							
	-0.15	-0.10	-0.05	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
0.00%	32687938	71488980	110290023	149091066	187892109	226693152	265494195	304295238
1.00%	21172180	54551046	87929913	121308779	154687645	188066512	221445378	254824245
2.00%	10919006	39665667	66852728	97619589	126786450	155753311	184720172	213667033
3.00%	1634565	27185150	52535736	77886321	103236907	128567492	153938078	179288663
4.00%	-6190920	16174044	38539006	60902972	83268937	105633901	127998665	150363629
5.00%	-13270653	6611585	26493822	46376060	66256296	86140536	106022773	125905011
6.00%	-19514037	-1711044	15091950	33294343	51697936	69500930	87302923	105106917
7.00%	-25022797	-6573329	7076119	23125577	39175035	55224493	71273950	87323406
8.00%	-29589189	-15326732	-768274	13792184	25352642	42217100	57766000	72624015
9.00%	-34195487	-20907671	-7620254	5667362	18954976	32242595	45530211	58817527
10.00%	-38914309	-25621738	-13629266	-1436797	10755673	22945143	35140614	47333064
11.00%	-43406753	-30164475	-18520205	-7675931	3526343	14812617	25056891	37300165
12.00%	-44434230	-34015912	-23597594	-13179276	-2760958	7657360	16075676	26455596

Gráfico 3

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Valor actual neto (para r = 8%)

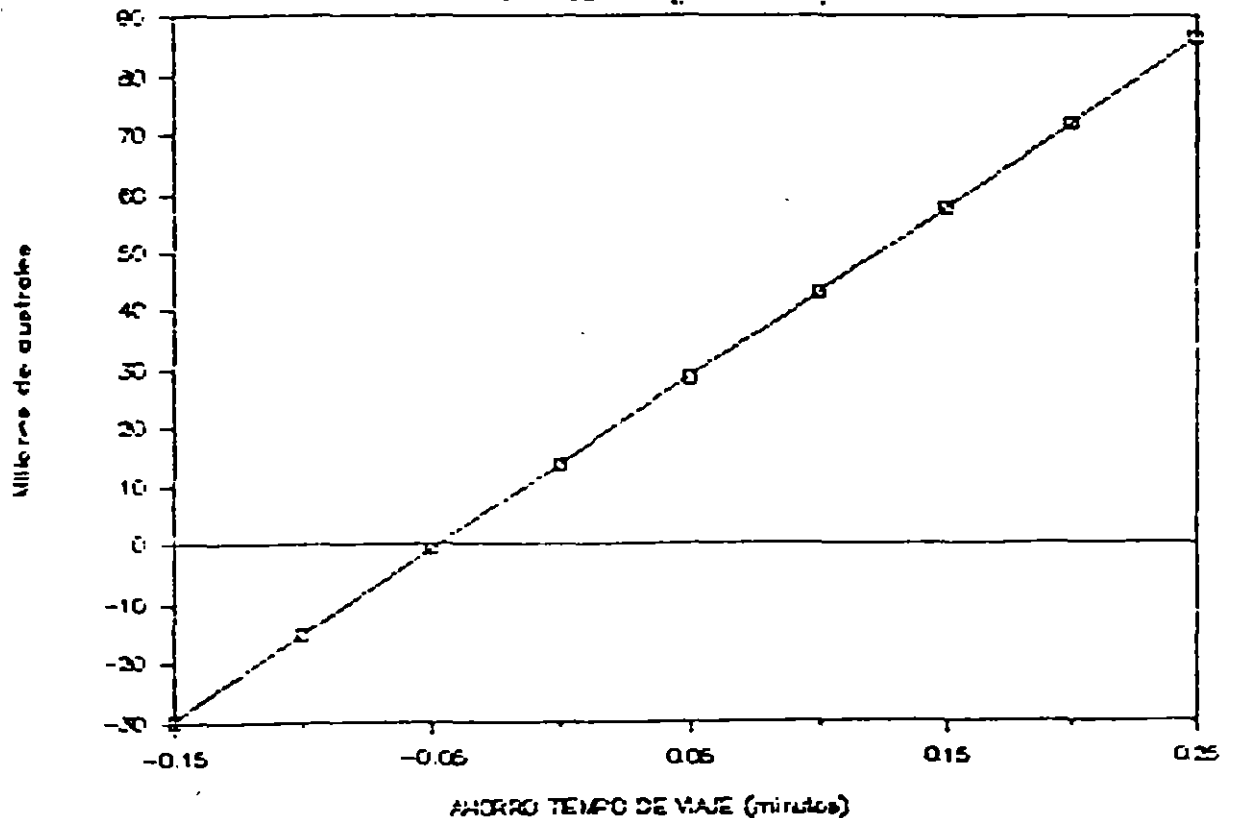


Gráfico 4

### ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Valor actual neto (para  $r = 8\%$ )

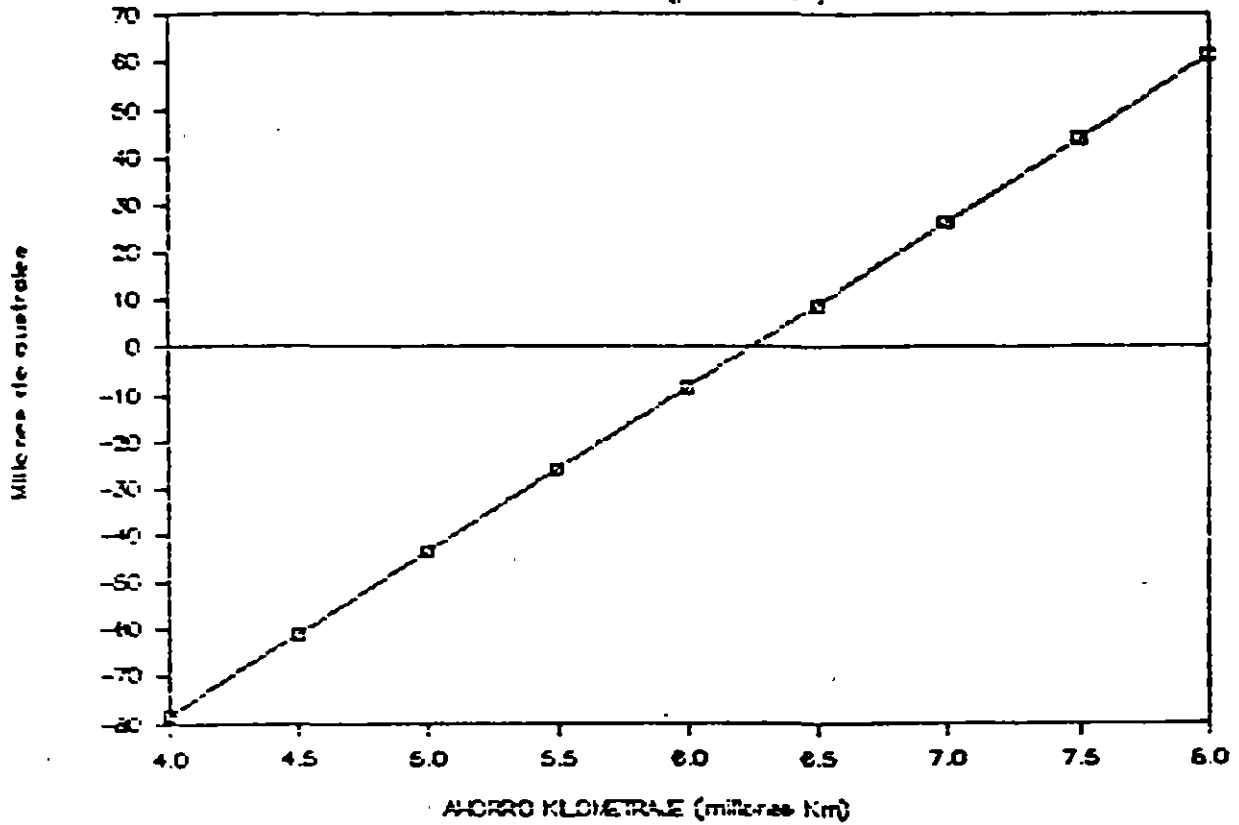
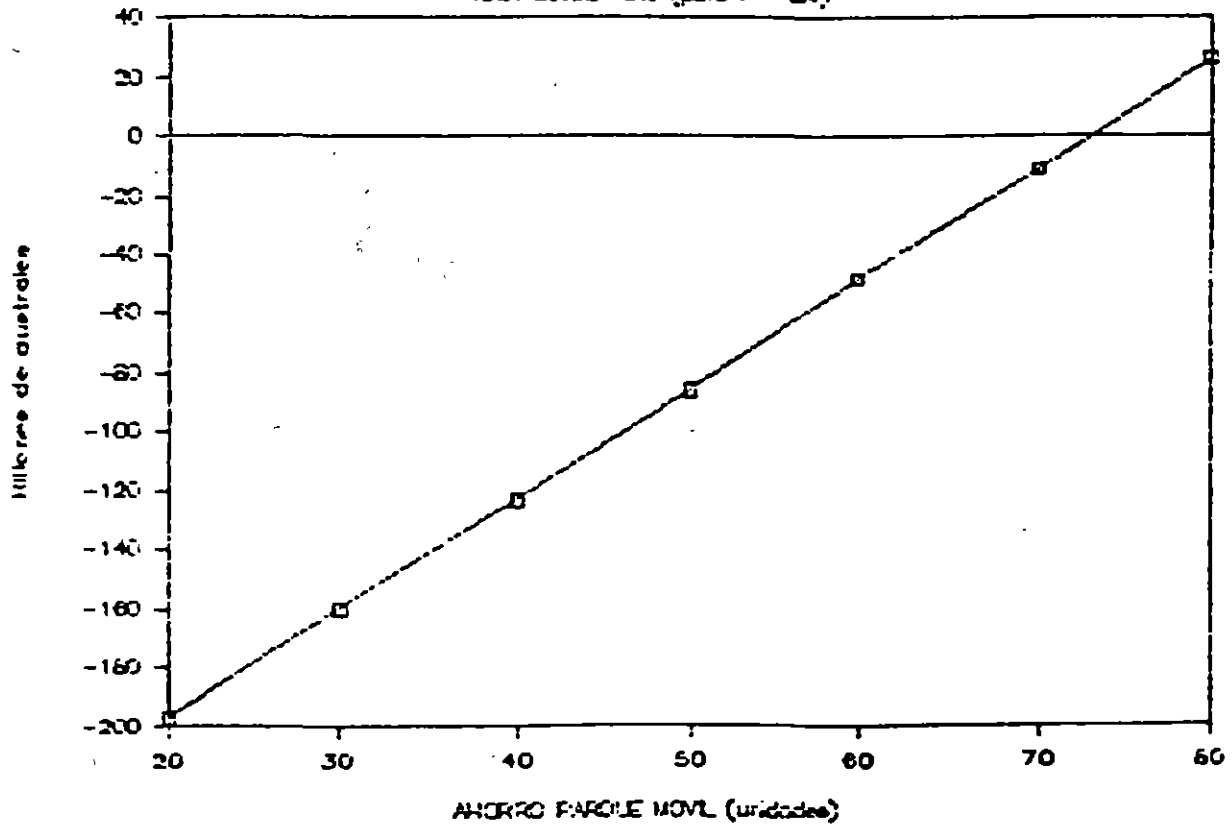


Gráfico 5

### ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Valor actual neto (para  $r = 8\%$ )



S<sub>A</sub>

### BIBLIOGRAFIA

- CLARAMUNT, Ana María y FORNERO, Luis, Desigualdad de la distribución del ingreso en el Gran Mendoza (Mendoza, FCE-UNC, 1988).
- , Influencia de la educación en la distribución del ingreso (1988).
- DEPARTMENT OF TRANSPORT, Values for Journey Time Savings and Accident Prevention (Londres, 1987).
- FERRA, Coloma y CLARAMUNT, Ana María, Rentabilidad de la educación primaria y secundaria en Mendoza (Mendoza, FCE-UNC, 1985).
- ODEPLAN - UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE, Ampliación línea dos del metro (Santiago, Instituto de Economía - U.C.Chile, 1979).
- , Extensión sur línea dos metro de Santiago, Versión preliminar (Santiago, 1988).

### ANTECEDENTES DEL PROYECTO

- DIRECCION DE TRANSPORTE, Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Informe Proyecto Ferrobús Mendoza-Luján de Cuyo (Junio 1989).
- DIRECCION DE TRANSPORTE, Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Evaluación de costos del servicio de transporte colectivo (Diciembre 1988).
- DIRECCION DE TRANSPORTE, Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Estudio analítico de costos de explotación del servicio urbano de transporte público de pasajeros.
- MATERFER, Proyecto de implementación de servicios de transporte de pasajeros con unidades livianas tipo coche motor liviano y premetro en la provincia de Mendoza (Agosto 1988).
- MATERFER, Respuestas a información solicitada por la Universidad Nacional de Cuyo, referidas al proyecto Ferrobús - Mendoza.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**CONCESION DE LA CENTRAL ELECTRICA NIBUIL IV**

Palacio de Minería

1995

## **RESUMEN**

### **Concesión de la Central Eléctrica Nihuil IV Experiencia para mejorar en el futuro**

En el trabajo se evalúa económicamente, desde el punto de vista provincial, el proyecto de generación hidroeléctrica Nihuil IV.

Para la producción estimada del proyecto se comparan los costos de tres alternativas de abastecimiento eléctrico provincial: 1) Construcción y operación de la central; 2) Concesión de obra pública y 3) Compra al Mercado Eléctrico Mayorista.

El análisis de la concesión de obra pública para un aprovechamiento hidroenergético muestra aspectos claves que no se han tenido en cuenta para la correcta definición de la política energética provincial, cuyo principal objetivo debe ser el bienestar de la comunidad.

Se deberían conciliar los incentivos requeridos para atraer la inversión privada al sector con los intereses de la comunidad, de tal forma que la optimización privada sea consistente con el bienestar social.

Los errores cometidos deben ser capitalizados para mejorar en el futuro las decisiones provinciales sobre emprendimientos eléctricos, tales como Los Blancos en el Río Tunuyán, Portezuelo del Viento sobre el Río Grande, Aprovechamiento Río Mendoza, etc., que involucran recursos económicos por una magnitud sustancialmente mayor que la requerida por el proyecto que se analiza a continuación..

## **Concesión de la Central Eléctrica Nihuil IV Experiencia para mejorar en el futuro**

**Roberto F. Cortegoso**

**Profesor titular Análisis Económico de Proyectos II**

**Federico Di Lello**

**Profesor titular Centrales Hidráulicas  
Facultad de Ingeniería**

Recientemente el gobierno provincial ha otorgado en concesión de obra pública la construcción de Nihuil IV, central hidroeléctrica al pie del complejo Los Nihuales sobre el río Atuel.

El proyecto licitado consiste en una central hidroeléctrica sin almacenamiento ubicada a continuación de la presa Valle Grande, compensadora para riego del sistema Los Nihuales, recientemente privatizado. Su potencia estimada es de 25 Mw y su generación anual es del orden de los 150 Gwh.

Esa generación representa el 5.8% del consumo provincial (2581 Gwh) en el año 1993. A su vez es el 6,4% de la energía actualmente disponible para Energía Mendoza Sociedad del Estado (EMSE), empresa que monopoliza la distribución en la provincia, la cual incluye generación propia (380 Gwh) y energía comprada al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) por 1.953 Gwh..

### **El mecanismo de concesión utilizado**

El mecanismo de concesión de obra pública elegido obliga al concesionario privado a realizar la inversión en la central hidroeléctrica, para luego hacerse cargo de la operación y mantenimiento de la misma durante el período de concesión de sólo 16 años. Como contraprestación el gobierno provincial se obliga a comprarle, por intermedio de EMSE, toda la generación durante la concesión a la tarifa adjudicada, recibiendo al final del período de concesión la propiedad de la central.

La licitación se realizó en base al menor precio de venta de la energía ofrecido por los cotizantes, *sin haber establecido un límite superior a ese precio*. La mejor oferta adjudicada, con una inversión a cargo del concesionario del orden de US\$ 27 Millones (sin IVA), consistió en una tarifa mínima de US\$ 40,68/Mwh (sin IVA), superior al precio vigente y proyectado en el MEM<sup>1</sup>. En el cuadro 1 se observan las distintas ofertas realizadas por las firmas cotizantes y el puntaje asignado a las mismas por el Comité de

---

<sup>1</sup> Si bien en la planilla de calificación, fuente del cuadro 1, no se aclara si las tarifas ofrecidas incluían o no el IVA, en la adjudicación se explicitó que el impuesto estaba incluido.

Adjudicación. Para la adjudicación se eligió la oferta de menor puntaje.

El puntaje de las ofertas se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$P(i) = 42.137.514 + 6,265 G(i) \{T(i) - 45,14\}$$

donde: P(i) puntaje de la oferta i

T(i) tarifa de la oferta i (U\$S/Mwh)

G(i) generación de la oferta i (Mwh/año)

La constante es el valor actual, al momento de finalización de la obra, de la generación básica licitada de 149.000 Mwh/año valuada a un precio de U\$S 45,14 con una tasa de descuento del 14% anual. Estos valores adoptados por el Comité de Adjudicación implican definiciones muy importantes en cuanto al costo de oportunidad tanto de la energía producida como del capital.

En cuanto al precio de la energía el cuadro 3 muestra que el precio adoptado es sensiblemente superior a los precios proyectados en el mercado nacional.

La tasa de descuento elegida debería reflejar el costo de oportunidad de los fondos públicos. En el caso particular de Mendoza debe tenerse en cuenta la existencia del Fondo para la Transformación y el Crecimiento, estimado en 500 millones de dólares, disponible para inversiones tanto públicas como privadas.

La tasa de costo de oportunidad de esos fondos surgirá del análisis de todas las alternativas de inversión disponibles para el Fondo. Esa tasa puede o no coincidir con la adoptada por parte del Comité de Adjudicación.

## **Limitaciones de la licitación**

### **1. Diseño técnico**

Los oferentes debieron ajustarse a un diseño técnico preexistente del proyecto que no considera las características actuales del mercado eléctrico nacional, el cual para determinar los precios de compra y venta tiene en cuenta la calidad de la energía generada en términos de confiabilidad y estacionalidad.

Al ser una central hidroeléctrica asociada al compensador Valle Grande del sistema del Atuel, la potencia disponible y la generación están acotadas por los aportes de aguas arriba y por los compromisos de riego.

La confiabilidad de la generación se ve restringida por carecer de compensador aguas abajo. Además la inversión prevista no tiene en cuenta obras necesarias para optimizar la seguridad del embalse Valle Grande, tales como una descarga adicional

independiente de la central que permita atender situaciones de emergencia y mantenimiento, sin afectar las entregas para riego.

Conforme se observa en el cuadro 2 la mayor parte de la generación obtenible, 71%, se produce en los periodos de tarifa baja de verano en el mercado eléctrico nacional.

## 2. Periodo de concesión

La limitación de la concesión a un período de 16 años, sustancialmente menor a la vida útil del proyecto, estimada en 60 años, no tiene justificación ya que, por el mecanismo adoptado, cuanto menor es el periodo de concesión mayor resulta el precio de la energía a pagar por los mendocinos durante la concesión.

## 3. Mercado cautivo

En lugar de imponer al concesionario un marco competitivo que lo obligue a vender la energía producida optimizando la comercialización, la licitación ha generado un mercado cautivo por el cual EMSE se obliga a comprar energía a un precio superior al costo alternativo de proveerse en el mercado eléctrico mayorista.

En el Cuadro 3 se observan las proyecciones de los precios de la energía, realizadas por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA), con las diferencias estacionales. Para el corriente período se ha establecido una tarifa de U\$S 35,11/Mwh para mayo/octubre y de U\$S 31,17/Mwh para los meses de noviembre a abril próximos. En el mismo cuadro se obtiene el precio promedio para la energía generable por Nihuil IV teniendo en cuenta la estacionalidad de su producción.

Esta modalidad de la concesión, que no tuvo en cuenta otras alternativas de provisión de la energía producida por Nihuil IV para los mendocinos, implicará un mayor costo de la energía a comercializar por EMSE, lo cual puede llevar a dos escenarios alternativos.

Si EMSE traslada ese mayor costo a los usuarios aumentando sus tarifas, aumentará el costo de vida de los mendocinos y disminuirá la competitividad de las actividades productivas locales cautivas de EMSE. Si EMSE opta por absorber ese mayor costo de la energía, esta política disminuirá el valor de venta de la empresa en su posterior privatización. Ambas alternativas disminuyen el bienestar de los mendocinos.

Otro factor adverso a la optimización de la política energética provincial surge de la segmentación del negocio de la generación eléctrica, al haber concesionado Nihuil IV en forma independiente de la privatización de los aprovechamientos hidroeléctricos aguas arriba (Nihuales I, II y III), lo cual provocará conflicto de intereses entre ambos operadores.



## **Evaluación económica de alternativas para definir correctamente el proyecto concesión**

En lugar del mecanismo planteado en la licitación, existen metodologías alternativas que permiten identificar cuál es la mejor decisión desde el punto de vista económico de la provincia.

Dado que la provincia dentro del mercado nacional actualmente es "importadora neta" de energía, debe comparar los distintos proyectos de generación propia con la alternativa de "importar" la energía producida (sustitución de importaciones).

Si los proyectos de generación propia previstos resultasen rentables frente a la alternativa de comprar a generadores externos a la provincia, puede ocurrir que la provincia de importadora se convierta en exportadora neta, en cuyo caso deberá comparar los beneficios adicionales que obtiene la provincia por la sustitución de la energía con los costos de generación, considerando no sólo los costos de operación y mantenimiento sino también los de inversión.

Como puede verse, en ambos escenarios los proyectos de generación propia deben enfrentarse con el precio del mercado nacional para determinar qué le conviene a la provincia, haciendo los ajustes pertinentes por costos de transmisión, para que las alternativas sean comparables.

Al analizar las distintas alternativas se ve que la concesión de obra pública utilizada por el gobierno provincial *es simplemente una forma de financiar* la construcción de centrales de generación, por la cual la provincia deja en manos del sector privado la inversión y operación de la central, obligándose a comprar la energía al menor precio licitado.

Si se incluye esta alternativa, la provincia puede tener tres formas distintas de proveerse del bien electricidad: 1) Construir y operar la central, 2) Concesionar y 3) Comprar al MEM.

Dado que se trata de un insumo, la provincia debe buscar el menor costo de obtención del mismo. Para cada alternativa debe obtenerse el flujo neto de costos en que se incurre durante los 60 años de vida útil del proyecto, para luego obtener el valor actual de los mismos considerando una tasa de descuento que refleje el costo de oportunidad del capital para la sociedad mendocina.

Si la Provincia decidiese construir la central en forma directa, deberá incurrir en los costos de inversión, original y de reemplazo, para luego hacerse cargo de los costos de operación y mantenimiento de la central durante la vida útil del proyecto. Las inversiones de reemplazo son reparaciones mayores que se realizan a los 30 años de habilitada la central con un monto estimado en el 11% de la inversión inicial.

En cambio, si la Provincia concesiona deberá pagar al concesionario la tarifa estipulada durante el período de concesión, para luego hacerse cargo de los costos de operación y mantenimiento y de las inversiones de reemplazo, en los casos que corresponda.

Por último, si la Provincia no realiza el proyecto, continuará comprando en el MEM al precio que determina el mercado.

**Cómo definir la concesión:** para definir correctamente la concesión se debería haber seguido la siguiente secuencia: 1) formulación de las distintas alternativas de provisión de energía con la determinación del valor actual de sus costos; 2) elección de la alternativa de menor costo y 3) determinación del valor máximo a pagar al concesionario.

En el cuadro 4 se vuelcan los datos básicos que permiten comparar las alternativas para seleccionar la de menor costo para la provincia. Además de los datos de la oferta adjudicada se agregan los costos operativos estimados a partir de datos de centrales similares optimizadas. Para el precio del MEM se ha tenido en cuenta el promedio de precios proyectados que surge del cuadro 3.

En las condiciones originales de la concesión, se observa en el cuadro 4 que la provincia debería haber estipulado un precio máximo a pagar por la energía, el cual surge de hacer indiferente la alternativa de menor costo frente a la de concesionar. Para una tasa del 14% anual, el precio resultante es de U\$S 39.41/Mwh, ligeramente inferior al adjudicado, el cual iguala el valor actual de los costos de concesionar con la mejor alternativa que es la de comprar al MEM.

En cambio si la tasa de descuento es del 10% anual, el precio máximo a pagar por la energía no debe exceder de U\$S 30.94/Mwh, el cual iguala el costo de concesionar con el de construir.

Para mostrar la importancia de la correcta definición de las reglas de juego, en el mismo cuadro se ve que si se amplía el período de concesión a la vida útil del proyecto, 60 años, aún con una tasa de descuento del 14% anual, el precio máximo a pagar por la energía generada asciende a \$ 35/Mwh, que hace indiferente la decisión entre concesionar o comprar al mercado, sin considerar el componente incertidumbre que implica comprar a precio fijo por 60 años en la concesión, frente a la alternativa de aceptar precios de mercado futuros sujetos a variación. Con ese cambio del período de concesión disminuye el costo de la energía para los mendocinos y se mantiene la tasa de rentabilidad para el inversionista privado.

Si la tasa de descuento es del 10% anual, el precio máximo a pagar durante el período de concesión de 60 años es de \$ 25,05/Mwh, sensiblemente inferior al anterior, y se iguala el valor actual de los costos de concesionar con el de construir directamente.

**La concesión realizada:** en el cuadro 5 se observa que las tres opciones analizadas tienen costos prácticamente iguales para la provincia, resultando la de menor costo la compra al MEM, cuando se considera la tasa del 14% anual elegida por el Comité.

Sin embargo, si se considera un costo de oportunidad de los fondos públicos del orden del 10% anual, los resultados obtenidos para la Provincia indican que la alternativa de menor costo es la de construir directamente el proyecto con un Valor Actual de Costos de \$ 28 millones. Si se decidiese concesionar a la mejor oferta, la Provincia incurre en un costo mayor, de \$ 36,6 millones, para proveerse de 150 Gwh/año durante 60 años. Por último, en este caso, la peor alternativa es seguir comprando la energía en el MEM.

En el Cuadro 5 y en el gráfico se ve claramente que las alternativas seleccionadas son la construcción directa para tasas iguales o menores al 14% anual, mientras que se debe comprar al mercado si la tasa es superior al 14% anual.

Como se puede apreciar *la alternativa concesión es descartada para cualquier nivel de tasa de costo de oportunidad de los fondos públicos.*

#### **Aprender para el futuro**

En lugar del mecanismo empleado por el gobierno provincial, se podría haber licitado el mayor precio a pagar a la provincia por el usufructo energético del salto de agua. Si no se hubiesen limitado las opciones de diseño, mercado y período de concesión, se habría permitido la optimización por parte del operador, de tal forma que se maximiza el ingreso a obtener por la concesión. Sin embargo debe imponerse al operador un marco competitivo de comercialización para que la optimización privada coincida con la social.

El ingreso que se hubiera obtenido por la concesión se podría haber incorporado al Fondo para la Transformación y el Crecimiento, aumentando la disponibilidad de recursos para financiamiento de proyectos provinciales, públicos y privados.

Esta experiencia de la Provincia debe servir para mejorar las decisiones sobre emprendimientos energéticos futuros fundamentalmente porque los proyectos previstos (Los Blancos en el Río Tunuyán, Portezuelo del Viento sobre el Río Grande, Aprovechamiento Río Mendoza, etc.) requieren inversiones sustancialmente mayores y no se pueden cometer los errores señalados en los diseños de las reglas de juego para incorporar al sector privado en las inversiones energéticas, las cuales deben reflejar el verdadero costo de oportunidad de la energía y del capital para la comunidad.

Cuadro 1: Calificación Ofertas Nihuil IV

Oferla	Tarifa U\$S/Mwh	Energía Mwh	Puntaje
1.A.1	61.15	150 876	57 270 777
1.A.2	58.15	150 876	54 435 062
1.B.1	58.13	151 170	54 440 084
1.B.2	55.13	151 170	51 598 844
2.A	48.00	149 200	44 810 865
2.B	48.50	151 000	45 316 124
2.C	51.00	152 382	47 731 899

Fuente: IEERAL de Fundación Mediterránea, Filial Cuyo (Sede Mendoza) en base a Informe Comité de Adjudicación.

Cuadro 2: Estimaciones de descarga y generación

Mes	Descarga (Hm3)			Energía
	(1)	(2)	(3)	Gwh (4)
OCT	120.0	108.3	90.0	12.0
NOV	117.0	103.7	90.0	20.0
DIC	134.0	125.6	124.0	18.0
ENE	147.0	127.6	124.0	16.0
FEB	109.0	92.7	90.0	11.0
MAR	94.0	73.4	90.0	8.0
ABR	78.0	55.5	64.0	4.0
MAY	80.0	60.3	64.0	4.0
JUN (5)	1.2	50.6	5.0	0.0
JUL (5)	1.2	66.6	5.0	0.0
AGO	67.0	62.1	77.0	7.0
SET	78.0	100.0	77.0	9.0
TOTALE	1026.4	1026.4	900.0	109.0
INVERNO	33.8%	43.6%	35.3%	29.4%
VERANO	66.2%	56.4%	64.7%	70.6%

- 1) Descarga para riego año medio.
- 2) Descarga Valle Grande según pliego.
- 3) Descarga Valle Grande año medio.
- 4) Energía año 1966/67 con descarga 993 Hm3/año
- 5) Corta por no riego.

Fuente: IEERAL de Fundación Mediterránea, Filial Cuyo (Sede Mendoza) en base a información proporcionada por AyEE. Jefatura de Estudios y Proyectos Zona Cuyo

Cuadro 3: Precios estimados a distribuidores  
(en U\$S/Mwh)

Año	Precio	
	Verano	Invierno
1996	32.78	35.70
1997	31.49	35.13
1998	31.19	36.26
2000	30.12	36.57
2003	37.72	49.82
Promedio	32.66	38.70
Precio proyecto	34.43	

Fuente: IEERAL de Fundación Mediterránea, Filial Cuyo (Sede Mendoza) en base a CAMMESA, precios de la energía y potencia a futuro años 1994 al 2003 (Gerencia de Estudios Especiales, abril 1993).

Cuadro 4: Evaluación alternativas de generación

Datos básicos		
Inversión inicial (U\$S)	27 280 823	
Generación (Mwh/año)	149 200	
Costo operativo (U\$S/Mwh)	3	
Precio MEM (U\$S/Mwh)	35	
Período construcción (años)	3	
Vida útil proyecto (años)	60	
Resultados de la evaluación		
Tasa	Período de Concesión	
	16 Años	60 Años
14%	P.máx. = 39.41 VAC = 25.17	P.máx. = 35.00 VAC = 25.17
10%	P.máx. = 30.94 VAC = 27.99	P.máx. = 25.05 VAC = 27.99

Notas: Precio máximo a pagar por la energía (P.máx.) en U\$S/Mwh  
Valor Actual de Costos (VAC) en Millones de U\$S

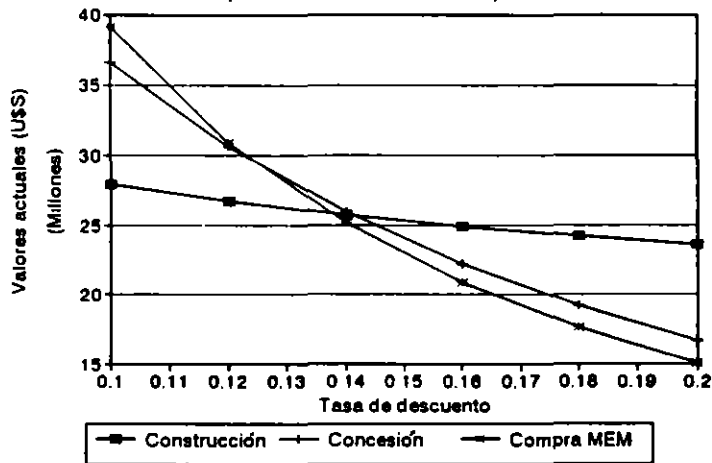
Fuente: IEERAL de Fundación Mediterránea, Filial Cuyo (Sede Mendoza), en base a estimaciones propias y a datos del informe del Comité de Adjudicación.

Cuadro 5: Evaluación de la concesión

Tasa de descuento	Valores actuales alternativos (millones de U\$S)		
	Construcción	Concesión	Compra MEM
0.10	27.99	36.53	39.10
0.12	26.75	30.63	30.94
0.14	25.77	25.97	25.17
0.16	24.95	22.23	20.91
0.18	24.24	19.19	17.66
0.20	23.62	16.69	15.11

Fuente: IEERAL de Fundación Mediterránea, Filial Cuyo (Sede Mendoza) en base a cuadro 4.

### Análisis de sensibilidad de costos (valor actual de costos)



Fuente: IEERAL de Fundación Mediterránea, Filial Cuyo (Sede Mendoza), en base a Cuadro 5.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE PROYECTOS**

**EN EL SECTOR EDUCACION**

Palacio de Minería

1995

METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE PROYECTOSEN EL SECTOR EDUCACIONI. INTRODUCCION

El objetivo del presente trabajo es el de poner a disposición de los funcionarios del sector Educación una metodología lo más simple y práctica posible para la evaluación social de proyectos de inversión del sector.

Aunque desde el nacimiento mismo de la ciencia económica se pensó que las decisiones que una persona toma respecto a la adquisición de los servicios de la educación podrían ser analizadas mediante un modelo económico, no fue hasta la sexta década de este siglo que los economistas comenzaron a dedicar una apreciable cantidad de sus esfuerzos al estudio de la educación y sus consecuencias respecto al comportamiento económico de los individuos y de la sociedad.

Se reconoce que la educación tiene relación con múltiples facetas del quehacer humano y por lo tanto su estudio es susceptible de enfocarse desde distintos ángulos, ninguno de los cuales implicaría un análisis total del problema. Nos limitaremos en este trabajo al estudio del aspecto económico de la educación, pensando que el mismo ayudará en cierta medida a la toma de decisiones lo más eficiente posible en lo que concierne a la asignación de recursos en el área educativa.



Advertimos que la tasa de retorno privada se refiere a la rentabilidad de la inversión que un individuo realiza para aumentar su propia educación, y no a la rentabilidad de los capitales invertidos por una empresa privada en el negocio de impartir educación a un grupo de personas.

En los estudios sobre la rentabilidad de la educación se distingue muchas veces entre las tasas de retorno marginal y promedio. Generalmente no se define el concepto de margen al que se refiere, pudiendo ser el individuo marginal, un año marginal de estudio o también un ciclo educativo completo. Lo común es definir la tasa de retorno marginal como aquella que se obtiene de pasar a un ciclo educativo respecto del inmediato anterior; por ejemplo, educación universitaria versus secundaria, o ésta respecto a la educación primaria. También se puede calcular la tasa de retorno correspondiente a toda la educación alcanzada, es decir, comparar un graduado universitario versus un analfabeto. A esta última se la llamaría tasa interna de retorno promedio.

Las tasas que generalmente se calculan son las tasas de retorno social entre ciclos educativos completos o entre dos cantidades de años consecutivos de educación; por ejemplo, la tasa de retorno correspondiente a un año adicional de estudio cuando ya se completó el tercer año de educación básica.

Estas tasas sociales son útiles para planificar la asignación de recursos a los diversos ciclos educativos o para decidir sobre los años mínimos de educación que serán obligatorios, o si la deserción en un determinado año del ciclo representa un costo para la sociedad. Las tasas privadas en

más clara del problema que se enfrenta cuando se desea medir los beneficios económicos de la educación, es conveniente lograr una comprensión de la naturaleza de los gastos en educación.

El ingreso, cualquiera sea su origen, puede en general ser destinado a gastos de consumo y a gastos de inversión. Los primeros se refieren a aquellos gastos cuyos resultados o beneficios son obtenidos y se extinguen inmediatamente. Los gastos de inversión son aquellos que pueden generar un flujo de ingresos (beneficios) durante un período de tiempo que varía según el tipo de inversión.

Hay bienes que pueden ser colocados en una u otra categoría sin mayor problema; por ejemplo, una barra de chocolate para ser comido durante la función del teatro es un gasto de consumo; en cambio, un camión para una empresa de transporte es un gasto realizado con la esperanza de obtener de él mayores ingresos en el futuro (no inmediatos).

La Educación tiene la particularidad de ser un bien de consumo y de inversión simultáneamente; es decir, que un monto de terminado gastado en educación participa de ambas condiciones al mismo tiempo.

La Educación como inversión consiste en procurar un cierto stock de capacidad para generar ingresos en el futuro, -es lo que se llama inversión en capital humano-. El beneficio derivado de los gastos en educación en cuanto a inversiones, entonces, el aumento en el producto atribuible al capital humano que se acumuló como resultado de una mayor educación. Esta productividad es susceptible de ser medida.

nos impide separar qué parte corresponde a inversión y qué parte a consumo; si fuera posible separarles, entonces la porción del gasto que la persona o sociedad considera que es consumo indicaría en cuanto se valora la satisfacción producida por el consumo de los servicios de la educación. (2) La segunda razón es que la unidad de medida va cambiando a través del tiempo al cambiar la escala de valores de las personas por motivos de la misma educación adquirida.

La suma de los beneficios, consumo e inversión, son los llamados beneficios directos de la educación. Al no poder medir los beneficios de consumo sabemos que estamos subestimando los beneficios directos totales, puesto que la parte correspondiente a los beneficios de consumo debe ser cero o positiva si es que todo o sólo una porción del gasto total en educación se realiza con el objeto de obtener mayores ingresos en el futuro, respectivamente.

Además de los beneficios directos de la educación- -es decir, aquellos beneficios recibidos por la misma persona que adquiere una mayor educación- -es común encontrar en la literatura sobre la economía de la educación otro tipo de beneficios denominados externalidades o beneficios externos. Estos son los percibidos por persona o grupos de personas distintas a la persona que obtuvo mayor educación y por los cuales ésta no puede cobrarles. Se ha efectuado un inventario de todas las externalidades que supuestamente deben ser asignadas a la educación (1). Parte de ellas son en realidad efectos so

---

(1): Mark Blaug, op. cit. páginas 108-114, también Ignacio Guerrero Gutierrez, Tesis para optar al grado de Ingeniero Comercial en la Universidad Católica de Chile, pág. 39-53 (no publicada).

C. Beneficios económicos externos (Externalidades)

1. Aumento en el producto y eventualmente en los ingresos de las personas que trabajan junto a una persona educada.
2. La educación facilita la apertura de nuevos horizontes intelectuales tanto de las personas educadas como de aquellas que carecen de educación.
3. Un aumento en la educación de la presente generación provoca un aumento en los ingresos de las generaciones futuras.
4. La educación provee de un mecanismo eficiente para el descubrimiento y desarrollo de nuevos talentos.
5. Una mayor educación asegura una mayor flexibilidad ocupacional a la fuerza de trabajo.
6. La educación crea un ambiente institucional que estimula la investigación científica y tecnológica.
7. Una mayor educacional (1) tiende a lograr un comportamiento social más acorde con las leyes y también estimula una mayor participación del financiamiento privado voluntario de los servicios sociales.

---

(1): La educación formal en este caso. Debe tenerse en cuenta que existe un proceso informal de educación que también normalmente tiende a estos objetivos y cuyos "costos" no están considerados aquí.

capturado por nuestra medición de A.1 es más fácil comprender esto si pensamos que cuando las personas deciden estudiar más años, la oferta del trabajo más calificado aumenta relativamente a la oferta del trabajo menos calificado; hecho que tiende a disminuir la diferencial de salario que existe entre trabajadores calificados y los menos calificados; si además de esto aumenta la demanda por este último tipo de trabajo debido al supuesto incremento en su productividad, entonces, la diferencial de salarios tendría que disminuir aún más, lo cual provocaría una disminución en el interés de las personas en aumentar sus años de educación. A este efecto final es al que nos referimos cuando mencionamos los correctores automáticos que regulan los mercados por diferentes tipos de trabajo.

Si el aumento en la productividad de los trabajadores menos educados debido al incremento relativo en la oferta de trabajo más calificado no se reflejará en la estructura de salarios, entonces sería correcto considerarla como un beneficio adicional de la inversión en educación.

A la escasa posibilidad de que esto ocurra debemos agregar la gran dificultad que implicaría separar este supuesto efecto de otros provocados por cambios en la demanda relativa por distintos tipos de trabajo debido al aumento en la mayor educación promedio de la fuerza laboral, al aumento en el capital físico disponible, cambios tecnológicos, etc.

Los beneficios de C.7, no son externalidades económicas sino que pertenecen a la categoría de los beneficios sociales y políticos de la educación.

Por último C.2 constituyen un beneficio derivado del "consumo" de educación.

### III. LOS COSTOS DE LA EDUCACION

Los costos de todo proyecto de inversión representa el uso que el proyecto hace de los recursos productivos. El valor de esos recursos está dado por el producto que habrían generado en un uso alternativo, producto que no se genera al ser los recursos utilizados por el proyecto en cuestión. En este sentido los proyectos de inversión en educación no se diferencian de los otros tipos de proyectos de inversión.

Los costos totales de los recursos utilizados en los proyectos de inversión en educación son : el valor de los servicios prestados por los profesores y el personal administrativo, el valor de los materiales y elementos necesarios para la operación del proyecto, el valor de la inversión con terrenos, edificios y equipos, el valor de los útiles comprados por los educandos, el valor de la movilización necesaria para ir a la escuela, y finalmente el ingreso sacrificado por los estudiantes(1). A este último (el ingreso sacrificado) se lo denomina costo indirecto de la educación y puede llegar a ser una porción importante del costo total en determinados proyectos de educación. Todos los otros rubros componen el costo directo de la educación.

(1) O el producto dejado de generar por el hecho que determinadas personas sean estudiantes.

La razón para tomar los sueldos y salarios en consideración es porque en un mercado competitivo y sin distorsiones, éstos tienen a reflejar la productividad marginal del factor trabajo.

Sin embargo, en los mercados laborales de la realidad existe una discrepancia entre el valor de la productividad marginal del trabajo y los sueldos y salarios. Esto es así debido, entre otras razones, a la existencia de virtuales impuestos al uso del factor trabajo y a la venta de los servicios de este factor.

Supongamos un mercado para una cierta categoría o tipo de trabajo en donde no existen asociaciones de trabajadores que puedan ejercer un poder monopólico en la venta de los servicios del trabajo, (vg. asociación de trabajadores, sindicatos, etc) igualmente las empresas que demandan este tipo de trabajo no ejercen poder monopólico en la compra de los servicios del trabajo ni poder monopólico en la venta de sus productos.

Bajo estas condiciones, a las empresas les conviene demandar trabajo hasta que el valor de la producción debido al uso de una unidad adicional de trabajo sea igual al costo que para la empresa tiene esa unidad adicional de trabajo. La demanda de servicios productivos del trabajo por parte de las empresas mide por lo tanto el valor de la productividad marginal del trabajo como se indica en el gráfico N<sup>o</sup> 1.

La oferta de trabajo indica la mínima retribución que el trabajador está dispuesto a recibir para ofrecer una cierta cantidad de sus servicios en el mercado.

salario más el porcentaje de aporte establecido. Al aumentar el costo del trabajo las empresas demandarán una menor cantidad que antes, de tal forma que el valor de la productividad marginal del trabajo sea igual al nuevo costo.

La nueva situación será un empleo (inferior) de 80.000 personas, un salario percibido por los empleados de \$ 1.000 mensuales y un costo del factor trabajo para la empresa de \$ 1.300 mensuales. El costo para la empresa es el valor monetario de la productividad marginal del trabajo y como vemos es superior al salario que las empresas pagan.

Si introducimos además un aporte provisional a cargo del empleado la discrepancia entre el valor de la productividad marginal y el salario neto percibido por el empleado es aún mayor.

Si el mercado de trabajo en la realidad opera con las restricciones descritas al tomar en cuenta los sueldos y salarios ya sean brutos o netos como una medida de la productividad marginal del trabajo estamos con seguridad sub-estimándola.

#### B. El efecto de la falta de Homogeneidad del Factor Trabajo

Para poder cuantificar los beneficios de la educación necesitamos una clasificación de la fuerza laboral por edad, años de educación e ingresos.

Se incorpora la variable edad porque hay evidencia empírica de que los ingresos de las personas están relacionadas con la edad en el sentido de que a mayor edad mayor ingreso, quizás, porque la edad es una indicación de la experiencia (productividad) adquirida.



El perfil edad-ingreso nos indica que las personas que tienen 40 años de edad en este momento y con educación básica completa ganan por ejemplo \$ 1.200 mensuales en promedio; las personas con la misma edad pero con educación media completa perciben en promedio \$ 2.450 mensuales y aquellos con educación universitaria completa ganan en promedio \$ 3.000 mensuales.

El beneficio bruto que asignamos al proyecto de proseguir la educación media hasta su terminación una vez completada la educación básica es la diferencia absoluta entre las remuneraciones promedios correspondientes a la educación media y básica respectivamente entre los 19 y 65 años de edad, considerando que normalmente una persona egresa de la escuela secundaria a los 19 años y se retira de la fuerza de trabajo a los 65 años. En nuestro ejemplo los beneficios <sup>netos</sup> asignables a los 4 años de educación media está representada por el área achurada en el gráfico N° 2.

Es conveniente enfatizar que los beneficios están medidos por la diferencia absoluta en las remuneraciones y no por las diferencias relativas. Para una persona que va a invertir parte de sus recursos en cierto número de años adicionales en educación es relevante saber cuanto más va a ganar y no en que porcentaje aumentarán sus ingresos (1).

Al tener en cuenta la edad y los años de educación de una persona estamos considerando las dos variables que explican una proporción significativa de la variabilidad experimentada por el ingreso, sin embargo ellas dos no son las únicas y sería in

(1) Mark Blaug, op.cit. páginas 46-47

Con relación a los Estados Unidos E.P. Denison (1) concluye que corresponde atribuir a la educación un 66% de la diferencial entre los ingresos brutos percibidos por los graduados en escuelas secundarias y el college, siendo el resto atribuible a otras variables como la educación de los padres y la habilidad innata de la persona.

En vista de que no existe ninguna evidencia sobre el efecto que la condición socio-económica y la habilidad del educando puede tener sobre la diferencial de ingresos en Chile, el procedimiento más plausible a seguir es no hacer ningún ajuste en los perfiles de edad-ingresos por estos motivos.

Sin embargo, existen otros ajustes a la cifras de los perfiles edad-ingreso que es necesario hacerlos y ellos se refieren a los ajustes por la probabilidad de supervivencia, tasa de participación en la fuerza de trabajo y tasa de desempleo.

El primero de los ajustes es necesario hacerlo puesto que para que la sociedad se beneficie de un aumento en la productividad de la fuerza laboral es requisito indispensable que las personas que la integran estén con vida.

Las remuneraciones del perfil edad-ingreso deben ser entonces multiplicadas por la probabilidad de supervivencia correspondiente a cada edad de tal forma que la remuneración ajustada será ahora :

$$R_E^t \cdot S^t \quad (2)$$

---

(1) E.F. Denison, Citado por Mark Blaug en Op. Cit. pág. 51

(2) Seguramente hay un  $S_E^t$  diferente por lo menos para "ob<sup>re</sup>ros" versus empleados. Pero probablemente no se dispone de cifras en Chile (E. Fontaine).

Con respecto al ajuste por desempleo habría que advertir que si los datos fueron obtenidos de un censo o muestra de la población total entonces el desempleo ya estará considerando en los resultados, pero si se trata de una muestra de la población ocupada únicamente entonces corresponderá hacer los ajustes por la tasa de desempleo para los distintos grupos de edades.

El valor ajustado de las remuneraciones será entonces :

$$R_E^t \cdot (1 - D_t^t)$$

donde  $R_E^t$  tiene el significado anteriormente mencionado y  $D_t^t$  es la tasa de desempleo para el grupo de personas de edad t.

El valor de las remuneraciones corregido por estos tres ajustes es entonces:

$$R_E^t \cdot \bar{S}^t \cdot r^t \cdot (1 - D_t^t)$$

### C. Beneficio Privado y Beneficio Social

Todos estos ajustes habría que aplicarlos a las remuneraciones correspondientes a los distintos grupos de edades y años de educación ya se trate de calcular los beneficios sociales y privados de la educación pero hay otra corrección que hay que hacer cuando se quiere computar los beneficios privados y es la correspondiente a impuestos sobre la renta. Al individuo le interesa desde su punto de vista cuál es la cantidad neta de impuestos que recibe como remuneración por su trabajo personal, pero, como el impuesto es una transferencia de una persona o grupos de personas a otro grupo dentro de la socie-

## SUELDOS PROMEDIOS GRAN SANTIAGO (a)

(\$)

EDADES \ AÑOS DE EDUC.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
15 - 19	275,93	277,66	279,49	281,21	283,00	284,77	308,73	325,09	387,37	425,28	499,50	542,91	610,96	687,46				
20 - 24	315,36	321,24	326,93	332,79	338,30	343,40	382,40	436,36	500,24	575,33	662,42	760,99	870,99	992,68	1.125,97	1.270,85	1.427,34	1.595,1
25 - 29	344,73	353,58	362,42	371,26	380,11	418,53	468,77	530,85	604,76	690,50	788,07	900,45	1.018,69	1.151,74	1.296,64	1.453,35	1.621,90	1.802,1
30 - 34	389,69	395,82	403,94	411,06	418,18	470,09	539,95	627,67	733,33	856,92	998,42	1.157,84	1.333,17	1.530,42	1.745,59	1.974,68	2.223,67	2.490,1
35 - 39	327,85	336,05	345,84	447,24	510,23	584,83	671,03	768,83	878,23	999,22	1.131,82	1.276,02	1.431,82	1.599,22	1.778,22	1.962,82	2.171,02	2.384,1
40 - 44	338,59	370,63	413,36	466,76	530,85	605,62	691,07	787,20	894,02	1.011,51	1.139,69	1.278,55	1.428,09	1.588,39	1.759,21	1.940,73	2.133,06	2.336,1
45 - 49	158,78	243,49	339,79	447,70	567,20	693,31	841,01	995,31	1.161,23	1.338,73	1.527,84	1.728,54	1.940,85	2.164,76	2.004,26	2.641,37	2.906,08	2.176,1
50 - 54	114,45	220,98	335,89	459,18	590,86	733,91	879,38	1.036,21	1.201,42	1.375,02	1.547,07	1.747,38	1.946,13	2.153,27	2.368,79	2.592,70	2.824,99	3.065,1
55 - 59	96,02	211,10	332,04	458,84	591,49	730,01	876,38	1.024,61	1.180,89	1.342,64	1.510,44	1.684,09	1.863,61	2.048,98	2.240,22	2.437,30	2.640,25	2.849,1
60 - 64	77,58	201,28	328,42	459,01	593,03	730,55	871,45	1.015,82	1.163,63	1.314,90	1.469,61	1.627,76	1.789,66	1.954,40	2.122,89	2.294,82	2.470,21	2.649,1

a) ACTUALIZADA A OCTUBRE DE 1975 SEGUN INDICE DE SUELDOS Y SALARIOS I.N.E. DATOS BASICOS DE MAYO DE 1962. (Coeficiente de multiplicación = 5.742,67)

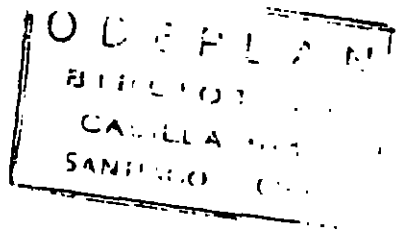
nibles se refieren al grupo total sin tener en cuenta los años de educación.

Podemos sin embargo, con la tasa de mortalidad para los hombres en el período 1969-1970, calcular las probabilidades de alcanzar cierta edad, a partir de la siguiente tabla de su -  
pervivencia por cada 100.000 nacidos Vivos :

60.041

= 70.42 %

85.259



En el cuadro Nº 2 presentamos las probabilidades de supervivencia para un hombre de cierta edad hasta otra determinada edad. Usaremos intervalos de cinco años para adaptarnos a la presentación del cuadro Nº 1.

$S_{t+5}^t$ , es la probabilidad para una persona de  $t$  años de llegar viva hasta los  $t + 5$  años.  $S_{15}^{10}$ , es la probabilidad para una persona de 10 años de edad de llegar viva hasta los 15 años.

CUADRO Nº 2  
PROBABILIDAD DE SUPERVIVENCIA  
 PARA HOMBRES ( $S_{t+5}^t$ )

$S_{10}^5$	99,60
$S_{15}^{10}$	99,58
$S_{20}^{15}$	99,16
$S_{25}^{20}$	98,70
$S_{30}^{25}$	98,02
$S_{35}^{30}$	97,60
$S_{40}^{35}$	96,90
$S_{45}^{40}$	95,85
$S_{50}^{45}$	94,30
$S_{55}^{50}$	92,30
$S_{60}^{55}$	89,40
$S_{65}^{60}$	86,46

CUADRO Nº 3

TASAS DE PARTICIPACION SEGUN GRUPOS DE EDADES PARA HOMBRES  
DEL SECTOR URBANO

<u>Grupo de Edades</u>	<u>Tasa de Participación (%)</u>
15 - 24	55.11
25 - 54	93.88
55 - 64	71.00

La tasa de desocupación varía con la edad, sexo, años de educación, tipo de actividad, etc. (1) Respecto a la edad, la mayor tasa de desempleo se da para aquellas personas de 15 a 24 años de edad ya sean hombres o mujeres. También, es fácil advertir una relación inversa de la tasa de desocupación con los años de educación (2). Cabría repetir lo expresado en página anterior de que si los datos sobre remuneraciones fueron extraídos de un censo o muestreo del total de la población, la desocupación ya estaría reflejada en aquellos y no correspondería un ajuste adicional. Este es precisamente nuestro caso pero debemos tener en cuenta que los datos originales se refieren al mes de mayo de 1962 período en el que la tasa de desempleo promedio fue del 6 %. Deberíamos, pues en nuestro caso en particular ajustar las remuneraciones del cuadro Nº 1 por la diferencial entre la actual y las esperadas para los años futuros y la vigencia en mayo de 1962.

Desgraciadamente, no se dispone de información sobre las tasas actuales de desocupación desagregadas por sexo, edad y años de educación.

- (1) Patricio Meller y Carol Rahilly, op cit, pág. 56-58 y cuadros Nº 41 al 50 del apéndice estadístico.
- (2) Joseph Ramos, op-cit. páginas 22-35, especialmente cuadros Nº 5, 6 y 7 de las páginas 33,34 y 35 respectivamente.

Nota: Como 1a. aproximación al problema planteado y sólo con el objeto de tener un valor de referencia, se ha efectuado el siguiente análisis provisorio:

Observando las cifras del I.N.E. (1) referidas a las tasas de desempleo de acuerdo a los censos de 1950 y 1970 y las Encuestas Continuas de Mano de Obra, 1966-1971 se puede inferir el nivel aproximado de las tasas de desempleo naturales para los grupos de edades "15-24", "25-54" y "55 y más".

Haciendo el supuesto heroico de que la relación entre esas tasas se mantiene entre las tasas actuales podríamos suponer de que en el presente las tasas de desocupación son las siguientes :

<u>Edad</u>	<u>% Desocupación</u>
15 - 24	26 %
25 - 54	13 %
55 - +	16 %

Como en el período de la encuesta que es la base de nuestra estimación de ingresos las tasas deben haber sido del orden de:

<u>Edad</u>	<u>% Desocupación</u>
15 - 24	12 %
25 - 54	5,2 %
55 y +	5,0 %

El ajuste a aplicar a las remuneraciones actuales serían aproximadamente :

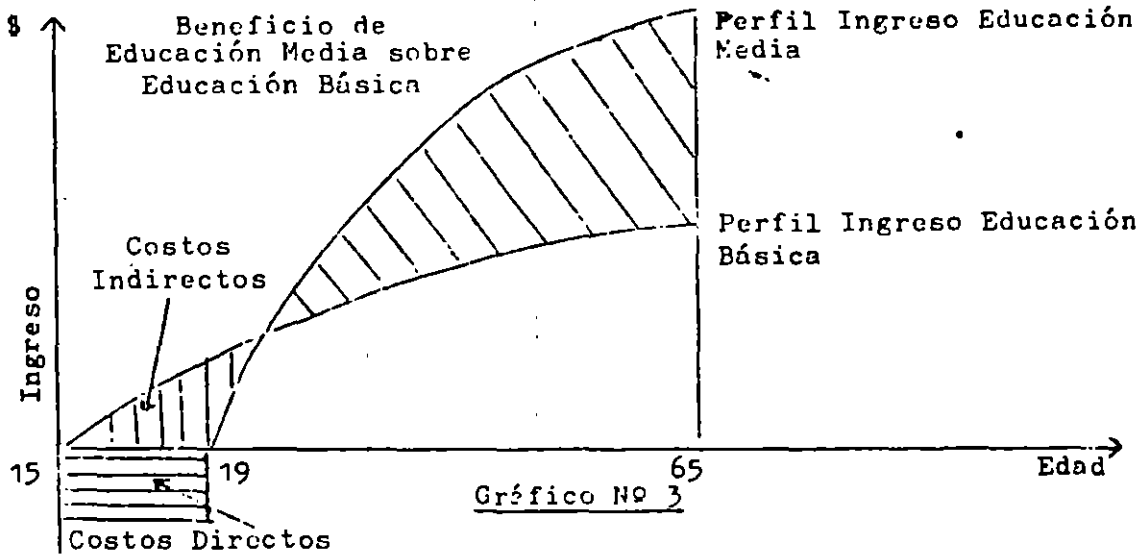
<u>Edad</u>	<u>% Desocupación</u>
15 - 24	14 %
25 - 54	8 %
55 y +	11 %

(1) Patricio Meller y Carol Rahilly, op. cit., páginas 109-112 Hay que hacer notar que las muestras del INE y del Departamento de Economía y Planificación de la Universidad de Chile son diferentes y dan resultados también diferentes.



El costo indirecto, o sea las remuneraciones sacrificadas durante los años de estudio, forman parte del costo total para el cálculo de las tasas de retorno privado y social.

El perfil de un proyecto que consiste en cursar los cuatro años de la educación media cuando se tiene la educación básica completa es el que se presenta en el gráfico N° 3.



El área sombreada con líneas inclinadas es la diferencia entre las remuneraciones que perciben las personas con educación media completa y las personas con educación básica completa entre los 19 y los 65 años de edad.

Son los beneficios del proyecto "completar la educación media una vez terminada la educación básica". Por supuesto que las remuneraciones se entienden ajustadas por los conceptos explicados en la sección IV.

En términos generales el costo anual que corresponde al capital físico invertido resulta de la siguiente operación:

$$\text{Costo Anual de Capital} = I (i + d)$$

donde "I" es el valor de la inversión total, "i" es la tasa social de interés y "d" es la tasa de depreciación.

El costo anual del capital físico se divide luego por el total de cursos para obtener el costo anual por curso.

Si por ejemplo la inversión consiste en un terreno cuyo costo es de \$ 70.000, un edificio cuyo valor es de \$ 500.000 con una vida útil de 40 años y equipos por valor de \$ 300.000 con una vida útil de 5 años, bajo el supuesto que el costo social del capital es el 13 % entonces el costo anual del capital físico es :

Terreno :	70.000	x	0,13	=	9.100 ✓	ANAL. (1)
Edificio:	500.000	x	$\sqrt[40]{0,13+0,0257}$	=	77.500	
Equipo :	300.000	$\sqrt[5]{x}$	$0,13+0,20$	=	90.000	
					185.600	

Si consideramos una escuela de enseñanza básica con ocho cursos entonces el costo anual del capital por curso será igual a \$23.200.

Otro rubro corresponde a los materiales necesarios para el desarrollo de la educación como ser tiza, libros, cuadernos, mapas, lápices, etc. que anualmente aporta el Estado. Este rubro debe también estimarse por curso.

El total de los tres rubros que mencionamos tiene que ser dividido por el total de alumnos por curso para así obtener el costo anual por alumno.

$$\begin{aligned}
 (1) \quad JAC_{ES} = 500.000 &= \frac{C}{0,13} \left[ 1 - \frac{1}{(1,13)^{40}} \right] \Rightarrow C = \text{COSTA ANUAL EDIFICIO} = 65.1193 < 77.500 \\
 JAC_{EQ} = 300.000 &= \frac{C}{0,13} \left[ 1 - \frac{1}{(1,19)^5} \right] \Rightarrow C = \dots = 85.294 < 90.000
 \end{aligned}$$

La deserción entre el cuarto curso de la enseñanza media y el primer curso de la universidad es del 38,49 %.

Si el costo anual de los tres rubros mencionados para curso 4º Básico fuera de \$285.000 y los alumnos matriculados en 4º Básico fueron 180, dada la tasa de deserción correspondiente tendríamos un costo anual incurrido por el Estado por alumno de 4º básico igual a :

$$\frac{\$ 285.000}{180 (1 - 0,0872)} = \$ 1.735$$

A este costo anual por alumno en que incurre el sector fiscal hay que agregar una estimación de los gastos anuales por alumno que pagan los propios educandos en concepto de útiles, libros y movilización en cada curso del ciclo.

Llegamos así al costo directo anual por alumno para cada uno de los cursos que comprende el ciclo educativo que estamos analizando.

El costo indirecto (ingreso que se deja de percibir) será calculado a partir del cuadro Nº 1.

Siendo con nuestro ejemplo de un proyecto que consiste en continuar estudiando cuatro años adicionales, una vez terminada la educación primaria hasta completar la educación media y suponiendo que el alumno ingresa a 1º medio a una edad aproximada a los 15 años, el ingreso mensual sacrificado por un alumno para cada curso del ciclo medio es la remuneración correspondiente a una persona de 15 años de edad y ocho años de esco-

Para un proyecto que consiste en completar la escuela básica respecto a ningún año de educación no computaremos ningún costo indirecto, cuando se trata de educación impartida, a personas menores de 15 años, puesto que a esa edad se supone que se ingresa a la fuerza de trabajo.

Si el proyecto fuera, sin embargo, impartir dos años de educación básica a personas sin educación entre 35 y 39 años de edad, el costo indirecto anual social por alumno sería para cada años de escolaridad igual a :

1er. año :	327,85	x 9	x 0,60	x 0,50	= \$	885,20
2º año :	356,82	x 9	x 0,60	x 0,50	= \$	963,41

bajo el supuesto de que el año escolar dura nueve meses, el costo social para personas con esa educación es sólo el 60 % del salario de mercado y la persona dedica a la escuela el 50 % de su tiempo.

#### Ejemplo

Nuestro proyecto consiste en completar la educación secundaria una vez que la persona haya completado la educación básica.

Se supone que en cada curso se matriculan las siguientes cantidades de alumno :

1.000	alumnos	se	matriculan	en	1º	Media
860	alumnos	se	matriculan	en	2º	Media
700	alumnos	se	matriculan	en	3º	Media
550	alumnos	se	matriculan	en	4º	Media

Se supone las tasas de deserción indicados en página 39.

	Movilización	-	\$	720
<u>2º Media</u>	Libros, cuadernos, lápices, etc.			<u>2.000</u>
			\$	2.720
	Movilización	-	\$	720
<u>3º Media</u>	Libros, cuadernos, lápices, etc.			<u>2.500</u>
			\$	3.220
	Movilización	-	\$	720
<u>4º Media</u>	Libros, cuadernos, lápices, etc.			<u>2.500</u>
			\$	3.220

Costo Directo por Alumno - Año Educación Media

Costo Anual del Capital Invertido

Terrenos :	\$ 150.000	(0,13)	=	\$ 19.500
Edificios :	\$ 800.000	(0,13 + 0,025)	=	\$ 124.000
Equipos :	\$ 500.000	(0,13 + 0,20)	=	\$ 165.000
				<u>\$ 308.500</u>

Costo Anual del Capital Invertido por Curso  $\frac{\$ 308.500}{4} = \$ 77.125$

Costo Anual en Materiales por Curso  $\frac{\$ 100.000}{4} = \$ 25.000$

Costo por Alumno-Año para cada Curso de la Educación Media.

Es la suma para cada uno de los cursos del nivel de los costos anuales directos e indirectos por alumno.

1º Media - \$ 2.982,56 + 2.092,88	= \$ 5.075,44	= C <sub>-3</sub>
2º Media - \$ 3.048,08 + 2.301,91	= \$ 5.349,99	= C <sub>-2</sub>
3º Media - \$ 3.670,21 + 4.495,50	= \$ 8.165,71	= C <sub>-1</sub>
4º Media - \$ 3.798,22 + 4.886,19	= \$ 8.684,41	= C <sub>0</sub>

Beneficios Económicos Directos

Se supone que normalmente una persona egresa del ciclo medio a los 19 años de edad. En nuestro ejemplo corresponde calcular como beneficio económico directo la diferencial entre las remuneraciones anuales que recibe en promedio una persona con 12 años de educación y con 8 años de educación ajustada por los conceptos explicados en la sección IV.

De acuerdo al cuadro Nº 1 el beneficio para cada año (en nuestro caso tendremos periodos quinquenales) será :

Durante, el 1er año =  $(\$610,96 - \$387,57) \times 12 \times (1.0) \times (0.5511) (0.86) = B_1$   
(19 años de edad)

Durante los 5 años  
siguientes =  $(\$870,99 - \$500,24) \times 12 \times (0.987) \times (0.5511) (0.86) = B_2, \dots B_6$ ,  
(20-24 años de edad)

Durante los 5 años  
siguientes =  $(\$1.018,69 - \$604,76) \times 12 \times (0.9803) \times (0.9388) (0.92) = B_7, \dots B_{11}$ ,  
(25-29 años edad)

En la forma indicada estamos calculando la tasa de retorno al momento en que se finaliza la educación media. Los costos se suponen incurridos al final de cada año y los beneficios percibidos también al final de cada año.

Tenemos entonces :

$$\overbrace{5.075,44}^{C_{-3}} (1+r)^3 + \overbrace{5.349,99}^{C_{-2}} (1+r)^2 + \overbrace{8.165,71}^{C_{-1}} (1+r) + \overbrace{8.684,41}^C =$$

$$B_1 / (1+r) + B_2 / (1+r)^2 + B_3 / (1+r)^3 + \dots$$

$$\dots + B_{41} / (1+r)^{41} .-$$

Calcular la TIR

- PSACHAROPOULOS, GEORGE : "The Economic Return to Investment in Education in the process of growth and development" The London School of Economic and political Science.
- SELOWSKY, M. : "El efecto del desempleo y el crecimiento sobre la rentabilidad de la inversión educacional: una aplicación a Colombia (Revista de Planeamiento y Desarrollo, Colombia).
- SOMOZA, JORGE Y TACLA, ODETTE : "La mortalidad en Chile según tablas de vida de 1920, 1930, 1940, 1952 y 1960" CELADE.
- INSTITUTO DE ECONOMIA
- UNIVERSIDAD DE CHILE : "Comentarios sobre la Situación Económica" Varios números semestrales.
- UNIVERSIDAD DE CHILE : "Encuesta Trimestral sobre Ocupación y Desocupación".
- INSTITUTO NAC. DE ESTADISTICAS : Estadísticas Mensuales sobre el Desempleo.
- SUPERINTENDENCIA DE EDUCACION, SECCION ESTADISTICA. : Estadísticas sobre Matrículas y promoción.
- E. SCHIEFELBEIN : "Diagnóstico del Sistema Educativo Chileno en 1964" U. de Chile. Depto. Economía.





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

**FUENTE:** MIDEPLAN, PREPARACION Y PRESENTACION DE  
PROYECTOS DE INVERSION (SANTIAGO DE CHILE, 1992)

**PREPARACION Y PRESENTACION DE PROYECTOS INDUSTRIALES**

**PALACIO DE MINERIA  
1992**

## **Capítulo IV**

### **Preparación y presentación de proyectos industriales**

Este capítulo trata de la preparación y presentación de proyectos industriales tales como mineros, químicos, energéticos, forestales, pesqueros y otros. Está subdividido en las siguientes seis partes: Resumen y conclusiones; Estudio de mercado; Estudio técnico; Aspectos legales, institucionales y organizacionales; Evaluación y Estudio financiero.

#### **1. Resumen y conclusiones**

Con el propósito de que la autoridad que ejerce el poder de decisión final tenga una visión global y objetiva del proyecto, es conveniente preparar un resumen que muestre escuetamente sus aspectos más relevantes.

Es fundamental que, en primer lugar, quede claramente establecido el objetivo que se persigue y que se describan las condiciones que hicieron nacer la idea del proyecto.

Además, deben exponerse concisamente las conclusiones a las que se llegan en el estudio y las recomendaciones pertinentes, haciéndose resaltar los puntos críticos, cuyo buen manejo es necesario para cumplir óptimamente los objetivos del proyecto y lograr la rentabilidad esperada.

En segundo lugar, del estudio de mercado debe desprenderse la cuantificación tanto de la demanda como de la oferta, con la especificación del origen de la información utilizada. Posteriormente, deben presentarse las proyecciones de demanda y de oferta, señalándose así el posible déficit que pretende ser cu-

bierto con el proyecto. Se indicarán también los procedimientos empleados en las proyecciones y el grado de confiabilidad de los resultados.

El estudio técnico debe especificar el tamaño del proyecto en términos de su capacidad de producción, y si están contempladas ampliaciones durante su vida útil.

Se debe describir la localización exacta del proyecto y las distancias que la separan de los centros poblados más importantes, de las fuentes de materias primas, de los puntos de embarque, en los casos de productos de exportación, y de los de llegada para los casos de insumos y de recepción de maquinaria, repuestos, etc.

Respecto del proceso productivo, sin entrar a una descripción de él, se mencionará si es el único posible o uno elegido entre varios y, sobre todo, las razones de su elección. Del proceso productivo se mencionarán en forma resumida los equipos, maquinarias e instalaciones y, además, los insumos; todo acompañado de los correspondientes costos.

Las obras físicas se agruparán en grandes rubros, como fábrica, edificios para la administración, y obras complementarias. Se indicará el costo de cada uno de estos rubros y el total de la inversión, separándola entre aquélla en moneda nacional y la requerida en divisas.

Del calendario de inversiones, se resumirá el tiempo y los montos probables de inversión que demandarán las etapas más importantes: diseño, construcción y puesta en marcha.

También se señalarán los costos fijos por ítem y los ítem a que corresponden.

Procede consignar, además, las características principales de la entidad responsable del proyecto y la organización que asumirá para ejecutarlo.

En cuanto a la evaluación, es conveniente incluir en un cuadro el resumen de los beneficios y costos de las situaciones que se espera superar con el proyecto. En seguida, se mostrarán los indicadores de rentabilidad resultantes de la evaluación.

A este cuadro se adjuntará un análisis de sensibilidad respecto de las principales variables que afectan a los indicadores de rentabilidad. Especialmente deberá incluirse el resultado del análisis de "momento óptimo". Deben darse los precios sociales utilizados en la evaluación social; es decir, de las divisas, de la mano de obra y del capital.

En el resumen del estudio financiero se incluirá un presupuesto de caja y la forma prevista para su financiamiento.

## **2. Estudio de mercado**

El objetivo del estudio de mercado es el de estimar el porcentaje de la demanda probable que un proyecto podrá satisfacer. En otras palabras, tal estudio es bá-

sico para pronosticar los ingresos en distintos períodos de la vida del proyecto, datos que serán utilizados en su evaluación.

Tanto la demanda como la oferta del bien o servicio que se proyecta puede referirse a una zona o región de un país, a todo el territorio nacional, o al exterior. El cobre, por ejemplo, es un producto con mercado internacional; en cambio, la necesidad de energía eléctrica en el norte de Chile cae en el marco de un mercado zonal.

Los aspectos básicos de un estudio de mercado se pueden clasificar como sigue: a) análisis de la demanda actual y futura; b) análisis de la oferta actual y futura; c) análisis del sistema de comercialización; y d) errores más frecuentes en el estudio de mercado.

#### a) Análisis de la demanda actual y futura

El objetivo de este análisis es el de estimar el comportamiento de la demanda futura. Para ello es importante conocer cómo ésta se comportó en el pasado y cuál es su comportamiento actual; es decir, lo que se busca con el análisis de la demanda es mostrar si existe una necesidad que puede ser satisfecha por un bien o servicio y cuáles son los factores que afectan a esa demanda. Aunque el proyecto consista en la elaboración de un nuevo producto, será útil conocer, por ejemplo, cuál fue la demanda en el pasado de un sustituto muy cercano de él.

**El primer paso es definir el producto o servicio que el proyecto ha de elaborar o producir; por ejemplo: azúcar refinada de primera; concentrado de cobre de 99%; gasolina de 93 octanos, etc.**

Para la definición del producto o servicio conviene usar una determinada unidad de medida; por ejemplo: kilogramos, hectáreas, kilovatios-horas, etc. Esta unidad de medida ha de mostrarse en todos los cuadros referentes a las cantidades consumidas, exportadas, importadas, etc.

Se especificará si se trata de un bien de consumo, de uso intermedio o de uno de capital; si se trata de un bien de exportación o para uso nacional, o de ambos; si sustituye importaciones o no. El tipo principal de consumidor o usuario también debe especificarse, dada su incidencia en el análisis de los métodos de comercialización posibles de emplearse; por ejemplo, si se trata de la elaboración de un fertilizante, será muy importante considerar un sistema de asistencia técnica a los agricultores.

Al desarrollar este tema se tienen que definir los principales sustitutos y complementos del producto que se piensa elaborar y, también, los subproductos posibles de obtener.

Cuando se identifica el producto se debe mencionar si la demanda del mismo es uniforme durante el año o si fluctúa fuertemente según las estaciones.

**El mercado por cubrir.** Una vez definido el producto se pasa a especificar el mercado que se piensa abastecer, indicando, en lo posible, si será local, regional, nacional, internacional o combinaciones de éstos. Esta información se complementará con otras relativas a la población, que comprendan: tasa de crecimiento, educación, edad y sexo, si es rural o urbana o semiurbana, el ingreso promedio por persona y sus perspectivas económicas. Además, las disposiciones legales, administrativas, etc., vigentes que afecten a la distribución del producto o servicio.

**La demanda por el bien o servicio.** Cuando el producto y el correspondiente mercado estén especificados, se calculará la demanda pasada y se dará la presente; ésta se identifica con las cifras de consumo real.

**Las variables que afectan a la demanda.** Determinada la demanda, se pasa a analizar los elementos que la afectan. Estos variarán según la clase de bienes o servicios en estudio:

i) *Bienes de consumo.* Las variables que influyen sobre la demanda son: precio del producto, el precio de los bienes sustitutos y complementarios, el ingreso, la población, las preferencias de los consumidores.

ii) *Bienes intermedios.* Son los que se emplean en la producción de otros bienes. La demanda de estos bienes intermedios es una derivada de los bienes finales que los utilizan como insumos y de la proporción en que los primeros se usan en la producción de los segundos. Esa proporción, llamada coeficiente técnico es un factor que afecta a la demanda de bienes intermedios y a los precios relativos de los insumos que pueden ser usados como sustitutos.

iii) *Bienes de capital.* Hay que considerar dos aspectos: la demanda para reposición de la parte consumida de las existencias y la demanda para aumentar esas existencias. Entre los factores que afectan a la demanda de bienes de capital están los coeficientes técnicos, la estructura económica del mercado estudiado, los años de vida útil del bien, además del ingreso y de los precios relativos de los posibles sustitutos.

**Estimación de la demanda futura.** El análisis de la demanda pasada y de la presente permitirá conocer el comportamiento de las principales variables que afectan a la segunda y esto servirá de base para proyectar la demanda futura. La estimación de ésta es esencial para el análisis del proyecto. Sin embargo, se debe tener conciencia de que no hay métodos infalibles para hacer proyecciones de demanda, pues siempre existe la posibilidad de algún acontecimiento imposible de prever que puede cambiar apreciablemente las estimaciones.

Existen varios métodos para proyectar la demanda futura, algunos simples y otros complejos. El uso de uno u otro método dependerá del beneficio, grado de precisión que se desea y el costo de la información requerida para aplicarlo.

No se describirá en detalle cada uno de los métodos de proyección, pues ellos se encuentran en los textos especializados.<sup>1</sup> Sin embargo, pueden mencionarse entre los más usados la proyección de la tendencia, empleo de coeficientes técnicos y proyección basada en elasticidades.

#### b) Análisis de la oferta actual y la futura

Una vez terminado el estudio de la demanda histórica y la futura del producto se pasa a considerar las condiciones de la oferta actual y de la futura de ese bien o servicio y de los posibles sustitutos.

Las dificultades que presenta el estudio de oferta se deben a la naturaleza de la información que se requiere; por ejemplo: volúmenes de producción, presente y futura; capacidades, instaladas y utilizadas; costos de producción de los otros proveedores, etc. Además, mayores son las posibilidades de cambio de los factores que afectan la oferta, algunos de ellos de difícil predicción, como cambios tecnológicos y en las disposiciones legales vigentes. Sin embargo, se pueden mencionar los aspectos básicos que debe contener el estudio de oferta, teniendo presente que éstos se refieren tanto al producto principal como a los subproductos. Entre ellos están:

**Caracterización del mercado del producto desde el punto de vista de la oferta.** El mercado<sup>2</sup> puede ser competitivo si, en relación a su tamaño, la cantidad de oferentes es tal que ninguno de ellos puede afectar sensiblemente el precio del producto; es decir, el productor individual considerará el precio como un dato, y no como un elemento sobre el que él puede ejercer alguna influencia.

El mercado también puede estar caracterizado por una situación monopólica; es decir, existe un solo proveedor del producto. El monopolista puede ejercer influencia sobre el precio del producto o, alternativamente, sobre la cantidad ofrecida; pero no sobre ambos conjuntamente.

Otra estructura de mercado que se puede citar es el oligopolio.

Por otra parte, se tendrá que recalcar si la oferta será externa o interna, o bien, una combinación de ambas.

Aunque hay categorías de información que debe recopilarse y estudiarse cualquiera que sea el tipo de mercado, una parte específica de la información debe recibir mayor énfasis según como sea éste. En principio, cuando el mercado es competitivo, el tamaño es quizás secundario, pues, teóricamente, al precio de mercado, el proyecto puede vender cualquier cantidad de producto o servi-

1 Pindyck, R. y D. Rubinfeld. *Modelos Econométricos*. Barcelona, Ed. Labor, 1980. Johnston, J. *Métodos de Econometría*, 3ª edición, Barcelona, Vicens-Vives, 1980.

2 Ferguson, C. E. y John P. Gould. *Teoría Microeconómica*. México, Fondo de Cultura Económica, 1980.

cio. Lo importante en este caso es la capacidad que tenga el proyecto para conquistar parte del mercado y, desde este punto de vista, lo principal será un buen estudio de costos de producción, tanto del proyecto como de los otros proveedores. También interesará el estudio de la calidad del producto que se ofrecerá y el sistema de comercialización.

Cuando en los estudios preliminares el mercado ha sido catalogado como monopólico es muy posible que el proyecto sea considerado como no factible. Sin embargo, queda la posibilidad de que el proyecto produzca un sustituto muy cercano al producto monopolizado y, en este caso, el análisis de la posibilidad de sustitución debe ser hecho en profundidad, como así también el estudio de los costos de producción del sustituto.

**Las variables de la oferta.** Al tener caracterizada la estructura de la oferta, se debe estudiar el comportamiento que ésta ha seguido en el pasado, con el fin de aislar los elementos que más influyen sobre ella. Los pasos que se darán son análogos a los expuestos en el estudio de demanda. El primero consiste en formular una hipótesis sobre los factores que pueden explicar el comportamiento de la oferta. Generalmente, ésta es afectada por las siguientes variables: el precio del producto; el precio de los insumos y de los factores productivos; el precio de productos relacionados; y la tecnología.

**Estimación de la oferta futura.** Con el fin de estimar la oferta es necesario proyectar el comportamiento de los elementos que la afectan y cuyas variaciones, desde el punto de vista estadístico, explicaron satisfactoriamente los cambios experimentados por la oferta en el pasado. Los métodos para proyectar son los mismos que los explicados en el análisis de la demanda, dependiendo la utilidad de cada uno del tipo de producto que se analiza. Además, es importante tener en cuenta en las proyecciones la información sobre la capacidad instalada y la ociosa, como así también los planes de expansión de los proveedores presentes y los probables, y la posible evolución tanto coyuntural como estructural del sistema económico.

**Participación del proyecto en el mercado.** Con las proyecciones de la demanda y de la oferta se pueden establecer las posibilidades de participación del proyecto en el mercado. De esta manera, si se proyecta para los años futuros una demanda de 100.000 unidades anuales y se proyecta una oferta, sin incluir el proyecto, de 85.000 unidades anuales, se estaría estimando una demanda insatisfecha de 15.000 unidades anuales. Este dato es de suma importancia para el análisis de tamaño de la planta, aunque esta cifra por sí sola nada dice pues hay que considerarla en relación a la clase del bien que se quiere producir. Si fueran automóviles, no hay duda que estaría indicando que sería muy difícil llevar a cabo este proyecto, salvo que los costos estimados sean muy inferiores al de los otros productores y que éstos pudieran ser desplazados del mercado.

Una vez estimada la participación del proyecto en el mercado, se puede abordar, en una primera instancia, la definición de la situación sin proyecto. En este sentido es adecuado conocer si el proyecto se refiere a la construcción de una nueva planta o a la ampliación de una ya en funcionamiento. Esto último, para alcanzar la producción con la que se participará en el mercado.

#### c) Análisis del sistema de comercialización

**El sistema de comercialización en uso y el propuesto.** El estudio de mercado debe contener un análisis de la forma en que se establece la relación entre las unidades de producción y los consumidores o usuarios del bien o servicio. Este es el objetivo del análisis del sistema de comercialización. Conviene iniciarlo con la descripción de las ventajas y las desventajas que pudiera tener utilizarlo; a fin de que sobre la base de este conocimiento se hagan las propuestas de cambio que se juzguen adecuadas.

La importancia de este análisis queda en evidencia cuando se comprende que el objetivo del proyecto no es sólo producir, sino también, procurar satisfacer las necesidades detectadas. Esto se logra mediante la venta y suministro de los bienes y servicios a los consumidores o usuarios.

**Aspectos que se deben considerar en un análisis de comercialización.** Los principales aspectos que se examinarán en esta parte del estudio de mercado son los siguientes: canales de distribución y su estructura; medios de transportes; sistemas de almacenamiento, de refrigeración y de conservación; diseño comercial del producto; asistencia técnica a los clientes; sistema de ventas y planes para su financiamiento; publicidad y propaganda.

Estos temas recibirán diferente énfasis de acuerdo con el tipo de producto de que se trate; por ejemplo, si el proyecto producirá cemento, en el análisis del sistema de comercialización, el aspecto asistencia técnica al cliente no tiene mayor importancia; en cambio, la tiene si el proyecto producirá algún tipo de fertilizante o herbicida. Las posibilidades de almacenamiento adquieren relevancia en la distribución de ciertos productos agrícolas. Muchas veces, una buena producción puede malograrse debido a la falta de almacenaje suficiente.

#### d) Errores más frecuentes en el estudio de mercado

Cuatro son los errores que con mayor frecuencia se detectan en los estudios de prefactibilidad y factibilidad. El primero se refiere a la atención que merecen los aspectos relevantes y secundarios que determinan la existencia de un mercado donde colocar el bien o servicio proyectado. Muchas veces, los factores importantes se analizan superficialmente y los irrelevantes con bastante profundidad. Así, cabe mencionar la falta de cuidado en la encuesta de los precios y



proyecciones optimistas de ellos. Además, se dejan de considerar las fuentes competitivas de oferta y los medios para hacer llegar el producto al mercado.

El segundo error común se relaciona con el ámbito de análisis, al abarcar un conjunto heterogéneo de bienes o servicios, descuidando el específicamente proyectado.

Un tercer error está en que los análisis de demanda y de oferta se basan sobre elementos diferentes. De ahí que la conclusión de participación del proyecto en el mercado puede resultar poco congruente.

Por último, también se puede observar que el estudio de mercado se restringe al bien o servicio básico que generará el proyecto, sin considerar los sub-productos.

### 3. Estudio técnico

El objetivo del estudio técnico consiste, en primer lugar, en proponer y analizar diferentes alternativas de proyecto para producir el bien que se desea, verificando la factibilidad técnica de cada una de las alternativas. El análisis señalará los equipos, maquinarias e instalaciones del proyecto y, por tanto, los costos de inversión requeridos. Además, este análisis permite establecer las existencias de materias primas y, por consiguiente, el capital de trabajo.

En segundo lugar, el estudio técnico persigue determinar los insumos que se requieren para producir el bien y, por tanto, los costos de producción.

En este capítulo se abarcan los siguientes temas: a) tamaño del proyecto; b) proceso de producción; c) localización del proyecto; d) obras físicas; e) análisis de insumos; f) análisis de costos; g) calendario de inversiones y programa de producción, ambos tentativos; y h) errores más frecuentes en el estudio técnico.

#### a) Tamaño del proyecto

Respecto del tamaño del proyecto pueden existir muchos que son posibles. Dependen ellos, entre otros factores, de las alternativas definidas para el proceso productivo y la localización.

**Definición del tamaño del proyecto.** La definición del tamaño del proyecto dependerá del tipo de proyecto que se esté considerando; por ejemplo, para un proyecto minero, se le puede definir como la capacidad de producción normal por período dado; para otro, de electricidad, como la capacidad de generación por instalarse.

Al estudiar el tamaño de un proyecto hay que tener en cuenta que puede referirse a su capacidad teórica de diseño, a su capacidad de producción normal o a su capacidad máxima. La primera se refiere al volumen de producción que, bajo condiciones técnicas consideradas óptimas (temperatura, calidad de insu-

mos, etc.) se alcanza a un costo unitario mínimo. La capacidad de producción normal es aquella que, bajo las condiciones de producción que se estima regirán durante el mayor tiempo a lo largo del período considerado, se obtiene al costo unitario mínimo. La capacidad máxima se refiere a la mayor producción que se puede obtener sometiendo los equipos al máximo esfuerzo, sin tener en cuenta los costos de producción. Sin embargo, el concepto de capacidad de producción normal es el que se debe adoptar como definición de tamaño del proyecto.

La capacidad de producción normal se puede expresar para cada una de las líneas de equipos o procesos existentes dentro de la unidad productora, o bien para toda la planta en conjunto. Hay que tener en cuenta, entonces, al determinar la capacidad o tamaño total, los distintos cuellos de botella que pueden existir en diferentes sectores de la unidad productora.

Todo lo anterior indica que el tamaño del proyecto no es una cifra absoluta sino que tiene su margen de adaptación. Esto exige que en la presentación se aclare cuál es la capacidad de reserva posible, definida como la diferencia entre la capacidad de producción normal y la de diseño; si hay la posibilidad de someter los equipos a sobrecargas y si puede haber uso fraccionado de esos equipos.

**Principales elementos que pueden afectar el tamaño.** En primer término, debe reiterarse que las soluciones adoptadas respecto del proceso productivo y la localización condicionan, en alguna forma, el tamaño del proyecto, así como éstas influirán en la elección final del proceso de producción y la localización; vale decir que, a la decisión final, se llegará mediante un proceso de aproximaciones sucesivas, observándose el efecto que en cada uno de los aspectos, causan cambios en los otros dos. La interdependencia de estos tres aspectos del proyecto puede observarse cuando existe la alternativa de instalar una sola planta con una capacidad de 100.000 unidades anuales en un cierto lugar, o bien tres plantas de 20.000, 30.000 y 50.000 unidades anuales en tres lugares diferentes. El proceso productivo también puede afectar al tamaño de la planta, pues los hay que exigen un tamaño mínimo.

Sin embargo, hay otros factores que influyen sobre el tamaño y que, a su vez, no son influidos decisivamente por éste, entre ellos el mercado. El estudio de mercado arroja una medida de su magnitud y, asimismo, de su tasa de crecimiento. Por tanto, el estudio de mercado permite una primera aproximación al tamaño de la planta.

La forma en que la demanda está distribuida geográficamente es otro elemento que debe tenerse en cuenta, pues una misma demanda total puede satisfacerse con una sola planta o con varias de diferentes tamaños, cada una situada en distintas zonas.

Otro factor que está ligado al tamaño de un proyecto es el de economías de escala. Lo fundamental en éstas es que el costo total unitario (que incluye el de capital y el costo de operación) sea distinto para diferentes niveles de tamaño, siempre que los equipos operen a plena capacidad. Así, si un proyecto du-

plica su tamaño y el costo total unitario no alcanza a duplicarse, entonces, existen economías de escala.

Otro elemento por considerarse en relación con el tamaño o capacidad del proyecto es la disponibilidad de insumos y tecnologías. En este aspecto habrá que analizar la existencia de recursos no renovables y el tiempo que ellos durarán, de acuerdo con diferentes escalas de producción; las reservas de recursos renovables y la limitación del uso de los mismos; la disponibilidad de otros insumos manufacturados y las posibilidades de alteraciones del ritmo de aprovisionamiento de ellos.

Conviene tener presente todos los elementos correspondientes a la legislación general o económica y fiscal, como asimismo los programas de desarrollo que pueden influir sobre el tamaño del proyecto.

La capacidad financiera y la capacidad administrativa de la empresa fijan los límites del tamaño del proyecto. En la presentación de éste se explicará cuál de esas capacidades influyó sobre el tamaño elegido.

**Márgenes de variación del tamaño.** El hecho de que todos o algunos de los elementos citados hayan establecido un límite dado del tamaño del proyecto, no significa que este tamaño haya de ser inalterable. A veces, por el tipo de proceso técnico utilizado, se pueden ir agregando unidades a las líneas de producción, ampliándose paulatinamente la capacidad productora del proyecto. Por otra parte, si el proceso técnico adoptado no permite estas adiciones sucesivas, puede convenir la instalación de una capacidad superior a la necesaria, si se prevé que el comportamiento del mercado o la disponibilidad de insumos posibilitará la utilización rentable de esa mayor capacidad instalada.

**Criterio para decidir el tamaño.** Para definir el tamaño se elegirá el tamaño óptimo, de acuerdo con el criterio del valor actual neto, y se seleccionará el tamaño que maximice ese valor.

En la presentación del proyecto debe incluirse una compatibilización del tamaño del proyecto con los resultados del estudio de mercado, del análisis de los procesos, de la localización, la disponibilidad de insumos y factores, las obras físicas y el análisis de costos.

## b) Proceso de producción

**Definición del proceso productivo.** Un proceso de producción se define como la serie de transformaciones a que es sometido un conjunto de insumos, con el fin de obtener uno o varios bienes. Estas transformaciones pueden ser sencillas o complejas. Los insumos y el producto obtenido pueden ser tangibles o intangibles. Un ejemplo de producto intangible es un nuevo conocimiento obtenido como resultado de un proyecto de investigación científica.

En muchos casos es posible obtener un mismo producto usando diversos procesos técnicos y el problema es, entonces, elegir el óptimo. Hay que insistir en lo indicado anteriormente: debe tomarse en cuenta la mayor cantidad de alternativas de procesos posibles.

Una forma conveniente de comenzar el análisis de los procesos productivos es hacer un estudio crítico de los utilizados por la competencia. Esto, sobre la base de las características tecnológicas, la intensidad en el uso de los factores productivos, los costos de producción, las facilidades para la expansión de la capacidad productiva, las ventajas y las desventajas de cada proceso y las razones dadas en cada caso para su adopción.

**Elementos que inciden en el proceso productivo.** Los factores que influyen en la elección del proceso de producción son: la naturaleza del producto, la disponibilidad y costos de insumos principales y los secundarios, la disponibilidad y los costos de factores productivos, la capacidad tecnológica de la empresa, el medio donde se establecerá, la flexibilidad del proceso en cuanto se refiere a su adaptación a nuevas tecnologías y a posibilidades de expansión de la capacidad productiva, las economías externas, los factores institucionales y las disposiciones reglamentarias sobre conservación de recursos, prevención de la contaminación ambiental, etc. El análisis de todos estos factores permitirá limitar el campo de los procesos alternativos considerados factibles.

Una vez adoptada la decisión sobre el proceso productivo, habrá que elegir entre los diversos equipos e instalaciones adecuados, poniéndose especial cuidado en comparar los costos y el grado de eficiencia de cada uno.

Hay equipos que son más eficientes que otros en un campo más amplio de volúmenes de producción, aunque su costo unitario mínimo de producción sea superior al de otros equipos. Muchas veces es preferible contar con cierto grado de flexibilidad en el equipo productivo aunque el costo unitario para una producción dada sea mayor, principalmente cuando se trate de la producción de un bien cuya demanda está sujeta a grandes variaciones.

Además, hay que tener en cuenta cuán flexible es el proceso de cambios de tamaño; es decir, si una ampliación de su capacidad puede hacerse sin mayores inconvenientes para el funcionamiento normal de la capacidad ya instalada.

**Descripción del proceso productivo.** Cuando el proceso de producción ha sido decidido, se debe hacer una descripción tanto del proceso como de los equipos, instalaciones, insumos y mano de obra que se han de utilizar, referidos al sistema principal de transformación y al de los sistemas complementarios (generación o conexiones de energía, empalmes ferroviarios o acceso a carreteras, almacenes, eliminación de residuos, etc.).

En esta descripción se identificarán las etapas, señalándose los procesos unitarios y las relaciones entre ellos. Además, se agregará un diagrama donde queden claramente indicados los flujos entre los distintos procesos unitarios. La

descripción ha de corresponder al proceso hasta ahora utilizado y al nuevo proceso, si el proyecto es de ampliación.

Se debe también indicar cuáles serán los productos principales, los intermedios y los subproductos, especificándose sus principales características: unidad de medida, cantidad y calidad.

Se señalarán todos los residuos derivados del proceso productivo y la forma como serán eliminados, mencionándose las posibles consecuencias para la ecología de la zona o para la contaminación del ambiente.

Es conveniente poner especial cuidado en el detalle de los equipos, instalaciones y maquinarias, el que debe incluir una completa especificación de cada uno de éstos, agrupándolos de acuerdo con el proceso unitario al que correspondan. Se indicará la clase de equipo, su origen, año de diseño, el productor, su vida útil, el tamaño o capacidad y su peso; este último tiene importancia para calcular los costos de transporte. Hay que especificar cuáles de los equipos, maquinaria e instalaciones serán importados y cuáles serán nacionales.

Después procede señalar los requerimientos de materias primas, materiales y otros insumos, tanto principales como secundarios; nacionales, importables o exportables, indicando las cantidades por unidad de tiempo, calidades requeridas y sus costos unitarios. Especial cuidado hay que poner en el detalle de las necesidades de combustibles, de energía eléctrica y de agua.

Otro ítem es el detalle del personal que se empleará en el proceso de producción. Se analizarán los requerimientos de ingenieros y técnicos, supervisores, obreros de fábrica y de campo; separándose al personal calificado del no calificado y haciéndose también una estimación del personal extranjero que se necesitará. Es preferible especificar el personal que se necesita por proceso unitario.

Al diagrama del proceso es conveniente agregarle un gráfico en que se señalen los flujos de materiales y energía, con indicación de las entradas y salidas para cada proceso.

**Criterios para decidir sobre el proceso por adoptarse.** Algunos de los factores que condicionan el proceso son cuantificables y susceptibles de expresarse en términos monetarios; respecto de otros, sólo puede hacerse un análisis de tipo cualitativo. Todos los que sean cuantificables entrarán en el cálculo del valor actual neto. Se debe elegir el proceso que maximiza el valor actual neto del proyecto.

También, hay que aclarar la compatibilización de proceso productivo con los resultados de los estudios de mercado, tamaño, localización, disponibilidad y costos de insumos y factores, obras físicas y análisis de costos.

### c) Localización del proyecto

**Niveles de localización.** El estudio de la localización se puede hacer en dos etapas. En la primera se elige la región o zona donde se localizará el proyecto. En la segunda se define el terreno y, dentro de éste, la distribución de las secciones del proyecto.

El problema de localización presenta diferentes grados de dificultad, que dependen principalmente del tipo de proyecto que se estudia. Hay casos en que la localización es un dato para el analista, como ocurre con los proyectos de explotación de recursos naturales o con los proyectos agrícolas. En otros casos, en principio, los lugares de posible localización son numerosos.

Aunque teóricamente la localización del proyecto puede parecer un tema muy difícil de abordar, cuando se analiza un proyecto específico, la cantidad de variables que son dignas de consideración puede disminuir drásticamente.

**Elementos que inciden en la localización.** Los factores que condicionan la localización, como se dijo, son en principio numerosos. Algunos son de importancia en la elección de la región o zona y, otros, tienen mayor influencia para la elección del terreno donde se implantará el proyecto. Los principales elementos que influyen en la localización son los siguientes:

i) *Las materias primas y los transportes.* Es indudable que la disponibilidad de las materias primas tiene una significación que puede llegar a ser decisiva, como en los casos de explotación de yacimientos minerales y manufactura de productos perecederos. Se pueden citar, como ejemplo, para el primer caso, la explotación de minas de cobre y hierro y, para el segundo, un ingenio azucarero y una procesadora de leche, etc. El lugar en que está situada la materia prima ejerce influencia decisiva cuando se necesitan grandes volúmenes para la elaboración del producto final. En los ejemplos del segundo caso, el transporte de la materia prima sería de costo muy elevado, puesto que se trata de transportar materiales de grandes volúmenes y de escaso valor unitario.

El caso mencionado de materias primas perecederas, además de fijar, en cierto modo, la localización del proyecto, también determina un límite máximo de su tamaño, pues éste tendrá que relacionarse con la producción probable de materias primas en la zona de influencia.

Además de la disponibilidad de materias primas, debe tenerse en cuenta el costo de ellas; generalmente éste se halla en íntima relación con aquélla.

La disponibilidad de medios de transporte, ya sean ferroviarios, aéreos, camineros, marítimos o fluviales, es otro elemento por considerar. Junto con el peso o los volúmenes de materias primas y productos elaborados, hay que analizar las distancias por recorrer y las tarifas del transporte. Conocidos el volumen o el peso, las distancias y las tarifas, se pueden establecer los puntos de fletes mínimos. Este ítem es uno de los que hay que tener en cuenta al decidir sobre localización.

ii) *Localización del mercado consumidor.* Este es otro factor que debe considerarse, especialmente cuando los costos de distribución son elevados. Además, el mercado puede estar muy concentrado o muy diseminado. En seguida, habrá que comparar las alternativas de hacer una sola planta, o varias, en cada uno de los lugares donde se hallan los consumidores. Hay que considerar no sólo donde está situada la demanda actual, sino también, su probable evolución.

iii) *Otros factores que pueden afectar la localización.* Los tres aspectos mencionados hasta ahora, disponibilidad de materias primas, transporte y mercado, son los que determinan la localización en una región o zona más o menos amplia y, por tanto, establecen un primer límite a las localizaciones posibles. El campo de localizaciones podrá ser limitado aun más cuando se consideren otros factores.

Las posibilidades de economías externas, nombre con el que se identifica la existencia de servicios de asistencia técnica, de industrias complementarias, de talleres de reparación y mantenimiento, de servicios de teléfonos, télex, y otros medios de comunicación, de facilidades bancarias, etc., ayudan a determinar un número más restringido de posibles localizaciones.

Las disponibilidades de agua suficiente y de la calidad requerida, como la existencia de energía suficiente, son esenciales en algunos tipos de industrias, especialmente en la petroquímica y la siderúrgica.

Las reglamentaciones sobre la protección del ambiente tienen que ser consideradas, según el tipo de proyecto, pues las normas existentes pueden exigir la instalación de sistemas ambientales preventivos o de eliminación de contaminantes, cuyos costos inciden sobre los del proyecto.

Las posibilidades de expansión del proyecto y las disposiciones tributarias, crediticias y los sistemas de promoción vigentes son factores que influyen sobre el problema de la localización.

La confección de mapas o gráficos donde aparecen las vías de comunicación, las fuentes de materias primas, la situación de los mercados consumidores, la existencia de proyectos similares, las disponibilidades de energía y agua, etc., es de gran ayuda para la elección de la localización apropiada.

No menos importante es la oferta de mano de obra especializada, aparte de la disponibilidad de capacidad empresarial.

Después de definida la región donde se localizará el proyecto habrá que elegir el sitio o terreno donde éste será construido. Para esto hay que analizar las posibilidades de empalmes ferroviarios o camineros con las vías existentes, las posibilidades de conexiones con la red eléctrica y los servicios de agua y el sistema para evacuación de residuos.

Desde este punto de vista, se deberán estudiar cuáles son las dimensiones apropiadas del terreno, así como sus características de estructura, conformación, consistencia, avenamientos naturales, etc.

Por último, corresponde analizar dónde se situarán las distintas secciones del proyecto.

**Tabla de decisión respecto de la localización.** Para decidir, entre todas las localizaciones posibles, cuáles de ellas pueden resultar más apropiadas, se confeccionará una tabla en la que se incluyan las localizaciones y los elementos que las afectan.

La comparación basada en estos factores permitirá eliminar todas las localizaciones que no reúnan los requisitos considerados esenciales desde el punto de vista técnico; por ejemplo: un proyecto para elaborar acero, no podría localizarse en un lugar donde no hay posibilidad de disponer de agua en grandes cantidades.

La elección final se hará entre las localizaciones que puedan satisfacer los requisitos técnicos, seleccionando aquélla en la que se origine el mayor valor actual neto del proyecto.

Se tiene que incluir en la presentación la compatibilidad de la localización sugerida con los resultados del estudio de mercado, tamaño, proceso productivo, disponibilidad de insumos y factores, las obras físicas y el análisis de los costos de construcción y operación.

#### d) Obras físicas

**Definición.** Por obras físicas se entiende la construcción de edificios industriales, oficinas administrativas, talleres, depósitos, accesos camineros o ferroviarios, o unos y otros, conexiones eléctricas, sanitarias y de agua, viviendas para empleados y obreros, y la construcción de toda otra obra complementaria que se necesite para la operación del proyecto.

**Factores que influyen en las obras físicas.** Los factores que influyen sobre las obras físicas son: el tamaño del proyecto, el proceso productivo y la localización. Es obvio el efecto del tamaño del proyecto sobre las dimensiones de las obras físicas principales y las complementarias y, por lo tanto, sobre el costo de la construcción. El estudio de ese tamaño mostrará también las posibles ampliaciones, las que deben ser consideradas al proyectar las obras físicas.

El proceso productivo influirá sobre las estructuras y formas, dado que éstas dependen del flujo de materiales, combustibles, materias primas y productos intermedios implícitos en cada proceso. También, dependiendo del tipo de proceso, se necesitarán diferentes obras complementarias.

La localización del proyecto afectará a las obras físicas en lo referente a su estructura y tipos especiales que tendrán que adaptarse a las características físicas, topográficas, climáticas, etc., de la región.

**Análisis y descripción de la alternativa de obras físicas.** Aunque los tres factores mencionados condicionan las obras físicas, siempre existe la posibilidad de proponer varias alternativas que satisfagan en distinto grado las exigencias impuestas por tamaño, proceso y localización.



El paso siguiente, una vez decidido el tipo, la forma y la dimensión de las obras físicas, es hacer una descripción de ellas. Esta no tiene que ser tan detallada, pues todavía la ejecución del proyecto no está decidida, pero debe ser suficiente para permitir la identificación de cada una de las unidades independientes de las obras principales y complementarias y, además, el análisis de sus costos.

En la descripción se seguirá un orden funcional de cada parte de las obras y se especificarán las principales características de cada una de ellas. Se usarán en todo caso unidades de medida aceptadas en el país. Se acompañará un gráfico con la distribución de todas las obras civiles en el terreno.

Respecto de la ejecución de las obras, cualquiera sea la forma, por ejemplo, por administración propia, contrato con firmas especializadas, etc., es imprescindible, para facilitar la evaluación tanto privada como social del proyecto, preparar e incluir un detalle de los principales materiales que se utilizarán en la ejecución de las obras indicando la cantidad, calidad, origen nacional o importado, y precio unitario.

También, se detallarán los equipos, maquinarias y herramientas que se requerirán en la ejecución de las obras, señalando la cantidad, origen nacional o importado, años de vida útil, el costo de cada uno y el destino que tendrán una vez terminada la obra.

Se incluirá, asimismo, el detalle de la mano de obra que se empleará en la ejecución de las obras, con indicación del número de personas, sus oficios y capacitación; además, el salario de mercado.

Sobre la base de la información anterior, se presentará un resumen que muestre los costos de ejecución de las obras físicas, diferenciadas por cada una de las unidades independientes, y el costo total de éstas.

Por último, se demostrará la compatibilización de las obras físicas con el resultado del estudio de mercado, tamaño, proceso productivo, localización, disponibilidad de insumos y análisis de costos.

#### e) Análisis de insumos

**El análisis de los insumos** está implícito en los estudios que se hacen respecto del tamaño, proceso productivo y localización; por lo tanto, en esta sección sólo se mencionarán algunos aspectos esenciales que deberá contener este análisis. Para la posterior evaluación social del proyecto, es fundamental la distinción entre insumos nacionales y exportables o importables.

Corresponde diferenciarlos entre principales y secundarios, lo que dará una idea de la profundidad con que debe estudiarse cada uno de ellos en lo que se refiere a su cantidad, producción actual y futura, calidad, usos alternativos, origen y costos. Se debe analizar también la existencia de insumos alternativos y

sus características en lo que se refiere a producción o reservas existentes, calidad, origen y costos.

Otros aspectos por considerar son el grado de elaboración con que se adquirirán, el transporte, la seguridad del abastecimiento y las condiciones de comercialización.

Muy importante será el análisis de las productividades supuestas en el empleo de cada insumo, y el efecto que tienen sobre la calidad del producto, de posibles subproductos y en las características de los residuos de fabricación.

Todos estos aspectos deben estudiarse y compatibilizarse en relación con los resultados obtenidos en los estudios de mercado, tamaño, proceso productivo y localización del proyecto.

#### f) Estimación y análisis de costos

Todas las alternativas de proyecto, para ser comparables tienen que expresarse en magnitudes homogéneas. Ello se consigue traduciendo en costos las magnitudes físicas de los varios elementos o ítem de cada alternativa. Los costos se expresan en unidades monetarias mediante el uso de los precios, los que deben estar siempre referidos a una base común.

El análisis de costos es una conclusión y en él influirán cada uno de los factores que incidieron en los diferentes aspectos del estudio técnico.

**Clasificación de costos.** La primera clasificación de costos que se puede hacer es la de costos de inversión y costos de operación del proyecto.

Los costos de inversión son todos los incurridos desde que se adopta la decisión de construir el proyecto hasta su puesta en marcha; es decir, todos los costos necesarios para dejar el proyecto en funcionamiento u operando. Son costos que se incurren en la parte inicial del proyecto y que pueden repetirse cada cierto tiempo, como es el caso del reemplazo de equipos.

Los costos de operación son los necesarios para mantener el proyecto en producción y se incurre en ellos en forma continua a lo largo de períodos determinados. Se clasifican en costos fijos y costos variables. Los primeros son independientes del volumen de producción; en cambio, se denominan costos variables los que varían con la producción. Como ejemplo de los primeros, se pueden mencionar los costos de administración; entre los segundos, los costos de energía eléctrica, de materias primas, de ciertas categorías de mano de obra, etc.

Otra clasificación de los costos de operación es la de costos totales y costos unitarios. Los primeros se refieren a la suma de todos los costos incurridos con motivo de la operación del proyecto por unidad de tiempo. Los costos unitarios son los totales divididos por las unidades producidas.

En resumen, la estimación y el análisis de costos tienen por objetivo la determinación y la asignación de costos a cada uno de los ítem o rubros involucrados en la inversión y operación del proyecto.

**g) Calendario de inversiones y programas de producción**

Sobre la base de los resultados de los estudios de mercado y el técnico, se pueden preparar un calendario de las inversiones y un programa de producción. Estos se utilizan para conocer el flujo de costos requerido en la evaluación del proyecto.

En el calendario de inversiones se detallarán los ítem o rubros de la inversión en el período (año) de ejecución que corresponde. En este calendario deberá presentarse, en moneda nacional, el componente nacional y, en moneda extranjera, el componente importado.

Con la información suministrada por el estudio de mercado y dependiente del proceso adoptado, se puede también hacer el programa de producción, que indicará el volumen probable que se alcanzará con el proyecto en cada uno de los años de su funcionamiento.

**h) Errores más frecuentes en el estudio técnico**

Es útil mencionar aquellos factores que son las causas más comunes de errores en los estudios técnicos. Se menciona, así, la insuficiencia de estudios y análisis preliminares. La profundidad y el tiempo dedicado a ellos variarán con el monto del proyecto, pero hay que tener siempre en cuenta que aunque se trate de procedimientos técnicos muy experimentados, probados y conocidos, muchas veces las características físicas y químicas de las materias primas, los combustibles, etc., varían de un país a otro o entre distintas zonas de un mismo país y, por lo tanto, los estudios y análisis preliminares siempre serán necesarios.

Otra causa de errores en los estudios técnicos es la falta de consideración de soluciones alternativas. Cabe insistir en cuán importante es considerar todas las alternativas posibles en lo referente a tamaño, proceso, localización, disponibilidad de insumos y obras físicas.

Finalmente, como tercera causa, se menciona el no tener en cuenta ciertos factores llamados secundarios. Generalmente se dedica todo el esfuerzo al estudio de los procesos y maquinarias necesarias, pero no se consideran debidamente otros aspectos como son los costos de mantención, sistema de inventario o provisión de materias primas, abastecimiento de energía y agua, facilidades para el personal, etc.

Todas las conclusiones del estudio técnico tienen que justificarse en relación a los resultados de los estudios de mercado, financiero y a la evaluación,

poniendo así en evidencia la interdependencia entre las diferentes etapas de preparación y presentación de un proyecto de inversión.

#### **4. Aspectos legales, institucionales y de organización**

##### **a) Marco legal del proyecto**

Análisis de la legislación vigente relacionada con el proyecto: legislación laboral, legislación tributaria, legislación industrial, general y específica, y tratados internacionales pertinentes.

##### **b) Análisis institucional**

Capacidad de la entidad para realizar el proyecto.

##### **c) Organización**

La ejecución y la operación de un proyecto exigen la coordinación de una cantidad apreciable de actividades especializadas. El número y la naturaleza diferente de éstas requieren para su desarrollo armónico una organización. En la formulación y presentación de un proyecto se deben, por lo tanto, incluir los esquemas de organización previstos, poniendo énfasis en los lineamientos generales.

El objetivo de este capítulo es establecer las características de la unidad que administrará el proyecto. Además, determinar los costos fijos asociados a él.

Se deben distinguir dos etapas: la de construcción o ejecución del proyecto y la de operación o funcionamiento. La primera comprende no sólo las actividades específicas relativas a la construcción de las obras físicas, sino también, todas las labores previas a la misma.

**Organización para la construcción.** La construcción del proyecto puede estar a cargo de la misma empresa que lo ha de operar o puede contratarse con firmas especializadas. En el primer caso se tiene que indicar la forma legal de la empresa o, en caso de una nueva, la que adoptará: privada, pública o mixta, sociedad anónima, de responsabilidad limitada, etc.

Si la construcción se llevara a cabo por administración, se tiene que indicar cómo se distribuyen las responsabilidades entre las diferentes divisiones o departamentos de la empresa, con una descripción de las funciones de cada uno y un organigrama para comprender las relaciones entre ellos.

El calendario de construcción servirá de base para elaborar un plan de ejecución que abarcará todas las actividades correspondientes a esta etapa y que debe contemplar cómo se movilizarán y coordinarán todos los elementos físicos, humanos, institucionales, legales, técnicos y financieros.

En relación a esta etapa es fundamental controlar el avance de todas las actividades que la componen. La carta Gantt es un instrumento de control de avance de las actividades ligadas a la construcción del proyecto. Su elaboración se realiza a partir de una lista completa de los tiempos de duración y holgura de dichas actividades, que se derivan del análisis del CPM o del PERT, o de ambos.

El CPM (Critical Path Method) o método del camino crítico y el PERT son métodos que permiten optimizar el tiempo y costo de la etapa de construcción de un proyecto<sup>3</sup>.

Por otra parte, se deberá indicar a cargo de qué departamento estará el detalle de las especificaciones, pedidos y recepción de propuestas; las adquisiciones de equipos y maquinaria y el control de los mismos; el aprovisionamiento de materiales y la contratación del personal para la construcción; el montaje de los equipos; y quiénes deben procurar el normal financiamiento del proyecto.

Un aspecto de vital importancia será el de organizar la división que tendrá a su cargo la relación con el poder público. De ella dependerán, muchas veces, cuestiones como el otorgamiento de créditos, permisos y autorizaciones de carácter técnico y legal.

Cuando la construcción se hace por firmas especializadas, la organización es más sencilla, limitándose a considerar los tipos de contratos de ejecución, control de las distintas actividades de ejecución, la supervisión e inspección final para la recepción de las obras y las relaciones con el poder público.

**Organización para la operación.** Se hará un detalle de los diferentes departamentos o divisiones de la empresa, indicando si se efectuará una implantación progresiva de la organización o se comenzará con la que será definitiva, en sus lineamientos generales.

Se tendrá que considerar el esquema de organización del sector ejecutivo, administrativo, técnico-contable, financiero y del sistema de control interno. Se indicará la estructura y las funciones de cada uno de ellos. Nuevamente, es útil presentar un organigrama para tener una visión completa de toda la organización de la empresa.

Hay proyectos en los cuales participarán varias reparticiones y deben delimitarse las responsabilidades de cada una de ellas.

Otro aspecto, es el de prever el normal aprovisionamiento de fondos, que dependerá, con seguridad, de una repartición diferente de la que ejecuta el pro-

<sup>3</sup> Baltar, Antonio. *Control de la ejecución de proyectos por el método del camino crítico (PERT)*. Santiago, Cuadernos ILPES, Serie No. 4, 1973.

yecto. Este financiamiento puede verse trabado por causas ajenas al proyecto. En este sentido, aunque los fondos provengan de organismos extranjeros o internacionales, se deben cumplir instancias en otros sectores de la administración, como el Banco Central o el Ministerio de Relaciones Exteriores, por ejemplo.

## 5. Evaluación

La evaluación tiene como objetivo fundamental contribuir a tomar una decisión acerca de la conveniencia de ejecutar un proyecto, utilizando como herramientas los criterios de evaluación, valor actual neto y tasa interna de retorno.

Para efectuar la evaluación del proyecto se deben construir los flujos de beneficios o ingresos y de costos de inversión y operación, para todo el período de evaluación, en las situaciones con y sin proyecto. De este modo se calculan los beneficios y costos incrementales, que resultan de la diferencia de beneficios y costos entre la situación con y sin proyecto respectivamente, los cuales son pertinentes para la evaluación.

En esta sección del Manual se comprenden los siguientes temas: a) evaluación privada; b) evaluación social; c) momento óptimo y análisis de sensibilidad; y d) recomendación.

### a) Evaluación privada

Para efectuar la evaluación privada se requiere conocer los ingresos y costos del proyecto, valorados a precios de mercado, en las situaciones con y sin proyecto. Del estudio de mercado y del estudio técnico se obtienen los ingresos, el calendario de inversiones y los costos variables; del estudio de organización, los costos fijos.

Para calcular los indicadores de rentabilidad es conveniente construir un cuadro que presente los ítem o rubros que componen los ingresos, las inversiones y los costos de operación del proyecto, con los montos que corresponden a dichos ítem, durante todo el período de evaluación. Al respecto, hay que confeccionar un cuadro para la situación con proyecto; otro, para la situación sin proyecto; y, un tercero, para la situación incremental.

Sobre la base de este último cuadro se determina el valor actual neto, aplicando sobre los flujos netos de cada período el costo de capital de la empresa. También se puede calcular la tasa interna de retorno sobre la base del mismo cuadro.

## b) Evaluación social

**Flujos de beneficios y costos en la evaluación social.** Para realizar la evaluación social de un proyecto se requiere disponer de los flujos de beneficios y los costos sociales en las situaciones con proyecto y sin él. Los beneficios y costos sociales de un proyecto industrial se calculan corrigiendo los precios de mercado, ocupados en la determinación de ingresos y costos privados, mediante los precios sociales.

Para determinar los beneficios sociales y los costos sociales se necesita tener el precio social de la producción y el precio social de los insumos, respectivamente. Tal como se indicó, MIDEPLAN entrega los precios sociales de los factores básicos de producción: mano de obra, capital y divisas.

Por otra parte, hay que tener siempre en cuenta que para evaluar socialmente un proyecto, los flujos de beneficios y los costos deben estar expresados en moneda nacional.

**Precio social de la producción<sup>4</sup>.** Para el caso de la evaluación social de la producción, lo primero que se tiene que considerar es si se trata de un bien nacional o de un bien transable.

Se llaman bienes nacionales los que por sus características no son ni podrían ser objeto del comercio internacional; es decir, que el país no podría importarlos ni exportarlos. El precio de estos bienes está determinado por las condiciones de demanda y ofertas internas.

Los bienes transables, conocidos también como exportables o importables, son los que realmente participan en el comercio internacional o que podrían hacerlo a ciertos precios. El precio interno de estos bienes está determinado por el precio internacional y el tipo de cambio.

**Precio social de bienes nacionales.** En el caso de bienes nacionales, el ajuste que se realizará sobre el precio de mercado en caso de distorsiones (impuestos, subsidios, monopolios, etc.), dependerá de las elasticidades de demanda y de oferta, puesto que ellas determinan los posibles cambios en las disponibilidades netas del producto para su consumo y los posibles cambios en las producciones de los otros oferentes.

El precio social es igual al promedio ponderado del precio que paga el consumidor y del que percibe el productor. Los ponderadores son las elasticidades de demanda y de oferta, respectivamente.

Cuando se estima un crecimiento de la demanda hay que analizar cuál habría sido la situación "sin proyecto" y compararla con la situación "con proyecto". En este caso, cuando lo único que hace el proyecto es sustituir producción

4 Fontaine E., *Evaluación Social de Proyectos*. 2a. ed. Instituto de Economía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 1981.

de los otros oferentes, corresponde tomar como precio social el precio que percibe el productor, sin incluir el impuesto.

En la presentación del proyecto corresponde explicar cuál fue el procedimiento utilizado para evaluar socialmente la producción y las razones para usar ese procedimiento.

**Precio social de bienes transables.** Cuando se trata de bienes importables, la norma será tomar como precio social de la producción del proyecto el precio CIF<sup>5</sup> multiplicado por el precio social de la divisa. Esto se hace en los casos en que el proyecto sólo sustituye importaciones o producción interna, o ambas, sin considerar impuestos ni subsidios.

Si, además de sustituir importaciones y producciones internas, el consumo total aumenta como resultado del proyecto, entonces el mayor consumo deberá valorarse.

Cuando se trata de bienes exportables, el precio social correspondiente es el precio FOB<sup>6</sup> multiplicado por el precio social de la divisa, sin tomar en cuenta los posibles impuestos o subsidios a la exportación.

En la evaluación de proyectos que generan productos transables, deberá ser utilizado el precio social de la divisa. Este es suministrado por MIDEPLAN.

**Precio social de los insumos**<sup>7</sup>. Respecto de los insumos que el proyecto utiliza, como combustibles, materias primas, materiales, tanto para la construcción como para el funcionamiento del mismo, conviene clasificarlos en bienes y servicios nacionales, importables y exportables, de acuerdo con el criterio aplicado para el caso de la producción del proyecto.

Para calcular el precio social de los bienes y servicios nacionales utilizados en el proyecto, cuando sus mercados presentan distorsiones, es necesario conocer sus elasticidades de demanda y de oferta, además de sus distorsiones específicas. El precio social es el promedio ponderado de los precios que paga el usuario del insumo y del precio que percibe su productor. Los ponderadores son las elasticidades de demanda y oferta.

Cuando los insumos son bienes importables o exportables, se utilizarán como precios sociales el valor CIF, en el primer caso y, el valor FOB, en el segundo, ambos multiplicados por el precio social de la divisa, sin tener en cuenta los impuestos o subsidios a la importación o exportación de esos insumos.

En la presentación del proyecto se debe explicar cómo se hizo la valoración de los insumos y justificar el método seguido.

**Beneficios y costos sociales.** Para calcular los beneficios sociales de un proyecto industrial, se debe reemplazar el precio de mercado de cada ítem o rubro que

5 Cost, insurance and freight (costo, seguro y flete).

6 Free on board (libre puesto a bordo).

7 Fontaine E., Op.cit.



representa ingresos, por el precio social de ese ítem. Los costos sociales se dividen en inversión social y en costos sociales de operación y habrá que calcularlos en forma separada.

i) *Inversión social*. En general, para calcular la inversión social debe corregirse la inversión privada mediante el precio social de la divisa y de la mano de obra. Por esta razón, en primer lugar, la inversión privada se debe desagregar en sus componentes nacional y extranjero. Este último se corrige por el precio social de la divisa. El siguiente cuadro muestra, para cada ítem de la inversión, el porcentaje que corresponde a cada componente.

### Inversión

ITEM	COMPONENTE (en porcentajes)	
	Nacional	Extranjero
Ingeniería de detalle		
Equipos		
Obras civiles		
Capital de trabajo		

En segundo lugar, la inversión se debe desagregar de acuerdo con la mano de obra que ocupa. Esta, a su vez, en semicalificada y no calificada. En otro cuadro se mostrará, para cada ítem de la inversión, el porcentaje correspondiente a mano de obra y, además, los porcentajes que corresponden a los dos tipos de mano de obra señalados.

### Mano de obra

ITEM	MANO DE OBRA (en porcentajes)		
	Ítem de inversión	Semicalificada	No Calificada
Instalación de equipos			
Obras civiles			
Obras complementarias			

Sobre la base de este cuadro y de acuerdo con las instrucciones de MIDEPLAN al respecto, se procede a calcular el costo social de la mano de obra, para utilizarlo en la determinación de la inversión social.

**Inversión Social (en pesos)**

Año Inversión Privada	Componente Nacional				Compo- nente Extran- jero	Correcciones			Inversión Social
	Total	Derecho de Aduana	Mano de Obra	Otros		Divisa	Mano de Obra	Derecho de Aduana	
1									
2									
3									

Es importante indicar que, si en la inversión existe un rubro sólo con componente nacional que representa una parte importante de su costo, habrá que estimar el precio social de aquél y efectuar el ajuste pertinente.

Para cada período se presentará la inversión desagregada en sus componentes, nacional y extranjero, con las correcciones de divisas y mano de obra, como se ilustra en el siguiente cuadro.

Cabe hacer notar que los derechos de aduana se eliminan de la evaluación social, porque constituyen una transferencia.

Este cuadro se debe preparar en las situaciones con y sin proyecto, de modo de obtener la inversión incremental.

ii) *Costos sociales de operación.* Estos datos se dividen en variables y fijos. Respecto de los primeros hay que tener el porcentaje que representan los insumos importados y la mano de obra, ésta separada en semicalificada y no calificada, a fin de corregir los costos variables privados de modo similar a las correcciones efectuadas a la inversión. Asimismo, si existe otro insumo sólo con componente nacional que representa una parte importante del costo variable, habrá que calcular su precio social y realizar el ajuste correspondiente.

Se presentarán los costos variables desagregados en sus ítem principales, en las situaciones con y sin proyecto, en un cuadro como el que sigue.

**Costos Variables Sociales (en pesos)**

Año	Situación con Proyecto				Situación sin Proyecto				Costos Variables Incrementales
	Mano de Obra	Energía	Materias Primas y Materiales	Total	Mano de Obra	Energía	Materias Primas y Materiales	Total	
1									
2									
3									

En relación a los costos fijos sociales, el procedimiento de cálculo es similar al de los costos variables. También, es adecuado incluir un cuadro similar para los costos fijos.

**Evaluación.** Se procederá a la evaluación social del proyecto, teniendo en consideración, en términos incrementales sociales, los beneficios y los costos de operación, más la cuantificación de alguna externalidad. El valor actual neto se calcula aplicando la tasa social de descuento a los flujos de beneficios netos obtenidos para cada período. También, a partir de estos flujos, se puede calcular la tasa interna de retorno.

**c) Momento óptimo y análisis de sensibilidad**

Después de efectuada la evaluación privada y la social, se determinará el momento óptimo del proyecto con el fin de establecer si es conveniente postergar su iniciación.

En segundo lugar, se harán los siguientes análisis de sensibilidad: al precio de venta del bien o producto; al precio de la materia prima más utilizada en el proyecto; al precio de la energía; y a los costos de los ítem más importantes de la inversión.

En estos análisis se debe presentar la variación porcentual de la variable analizada respecto del valor considerado en la evaluación, con el valor actual neto y la tasa interna de retorno correspondientes.

**d) Recomendación**

La última etapa de la preparación de un proyecto finaliza con el cálculo de los indicadores de rentabilidad. Sobre la base del valor de ellos, hay que recomendar si conviene o no realizar el proyecto.

La recomendación o decisión, en el nivel de factibilidad, puede ser la de ejecutar el proyecto, desecharlo porque no aparece rentable, o postergarlo de acuerdo con los resultados que arroja el estudio del momento óptimo de inicio del proyecto.

**6. Estudio financiero**

Es indispensable que toda presentación de estudio de un proyecto contenga un capítulo destinado al análisis financiero. La razón de ello es que, para ejecutar y poner en operación un proyecto, se necesitan los recursos financieros suficientes.

El objetivo de este estudio consiste en analizar las alternativas de financiamiento disponibles, de modo de seleccionar la más apropiada. Además, se tiene que demostrar que la fuente de financiamiento, por la cual se ha optado, es accesible y que las posibilidades de recurrir a ella guardan relación con las características reales del proyecto.

La comparación entre el calendario de costos de inversión y de operación y el de ingreso, permite determinar el monto de financiamiento requerido y su distribución en el tiempo. En consecuencia sirve de base para analizar alternativas de financiamiento.

La presentación de este capítulo considerará los siguientes temas: a) Análisis de las alternativas de financiamiento; b) Instrumentos de análisis financiero; y c) Errores más frecuentes en el estudio financiero.

#### a) Análisis de las alternativas de financiamiento

**Clasificación de las principales fuentes de fondos.** Los fondos para el financiamiento de un proyecto de inversión pueden provenir de las fuentes siguientes: i) internas, de la empresa; ii) externas, ajenas a la empresa.

i) *Las fuentes internas* consisten en las utilidades no distribuidas y en los cargos por depreciación del capital.

Las utilidades no distribuidas son las utilidades totales, menos los pagos por impuestos directos, dividendos y otras formas de participación en empresas no organizadas como sociedades anónimas. Es obvio que el acceso a fuentes internas sólo es posible en el caso de que el proyecto sea llevado a cabo por una empresa que está en funcionamiento.

ii) *Las fuentes externas* son los bancos y el mercado de capitales, a los que se recurre para la obtención de préstamos de diversos tipos y a la búsqueda de aportes de capitales.

Los préstamos pueden ser clasificados, de acuerdo con los plazos de vencimiento, en créditos a corto plazo, a mediano plazo y a largo plazo.

Los créditos a mediano y aquéllos a largo plazo, son los comúnmente utilizados para financiar la adquisición de bienes de capital. En cambio, los créditos a corto plazo están destinados a financiar los desfases que pudieran existir entre desembolsos e ingresos derivados de la operación del proyecto.

Hay una clase especial de préstamos llamados comúnmente créditos "atados". En éstos, a las condiciones normales sobre tasas de interés, plazo de amortización, etc., se agregan otras, como la obligación de comprar una cierta marca de equipo o bien adquirirlo en un determinado país, o utilizar el préstamo únicamente para financiar un proyecto específico, etc. En este último caso, el préstamo se otorga a una tasa de interés que es, generalmente, inferior a la de mercado. No hay que confundir los créditos atados de este tipo con los créditos subsidiados, pues estos últimos no obligan a una inversión específica.

Tanto los aportes de capital como los préstamos pueden ser realizados por el sector privado o el público y pueden ser de origen nacional o extranjero.

**Elementos que deben tomarse en cuenta en la elección de fuentes.** Cuando se trata de elegir entre fuentes alternativas de financiamiento es conveniente distinguir entre capital propio y préstamos. El capital propio consiste en los recursos internos de la empresa más los aportes de capital que se pueden conseguir en el mercado respectivo. El problema se plantea, en los términos más generales, en elegir entre estas dos clases de financiamiento.

Es indudable que la inversión es la que presenta los mayores problemas de financiamiento. Por esta razón, deberá realizarse un análisis profundo de este aspecto.

Desde el punto de vista financiero, es importante el cálculo de los intereses por los préstamos que se puedan obtener para financiar la inversión y que deban ser pagados antes de que empiece a operar el proyecto. Desde el punto de vista financiero, estos intereses se consideran como parte de la inversión.

Para el cálculo de los intereses hay que tomar en cuenta el monto de las entregas que se vayan efectuando, el tiempo que transcurrirá desde la entrega hasta la operación del proyecto y la tasa de interés correspondiente.

La proporción en que se emplearán las dos clases de financiamiento, capital propio y préstamos, dependerá de las relaciones entre la tasa de interés sobre el préstamo y la tasa de retorno sobre las acciones y la del proyecto; es decir, del costo de capital; de las condiciones del préstamo referidas a plazos de amortización; otros compromisos adicionales, etc.; y la disponibilidad de capital propio.

La disponibilidad de capital propio no sólo se refiere a los fondos propios de la empresa, sino a la posibilidad de obtenerlos en el mercado mediante la colocación de acciones y otras formas de participación.

Al enfrentarse con el problema de la elección de la fuente de financiamiento, es necesario considerar todas las alternativas posibles y tener en cuenta que el costo de capital es la rentabilidad de la mejor alternativa de inversión que se tiene.

El financiamiento con créditos tiene la ventaja de no afectar al control de la empresa por parte de los propietarios. Además, como existe la obligación legal de pagar los intereses y amortizar el capital en los plazos establecidos, es posible colocar bonos y otra clase de obligaciones a una tasa de interés menor que la estimada para las acciones. Tiene también ciertas ventajas tributarias al permitirse, generalmente, la deducción de los intereses de la renta sujeta a impuesto.

Entre las distintas clases de préstamos hay que distinguir los que exigen una garantía especial, ya sea hipotecaria o prendaria, sobre determinados activos de la empresa. Esto, sin lugar a dudas, limita la posibilidad de disponer de estos activos en cualquier momento. Esta clase de crédito es usada, general-

mente, para proyectos que pertenecen a sectores que experimentan cambios tecnológicos menos frecuentes y, por lo tanto, la vida útil del equipo es más prolongada.

La desventaja del financiamiento mediante créditos es que su servicio debe cumplirse cualquiera que sea el resultado del proyecto y, además, incide sobre la capacidad de endeudamiento futura. Ya se mencionaron los créditos atados, que imponen algunas condiciones adicionales que pueden resultar desventajas para el proyecto.

Finalmente, existen proyectos que, por decisión política, deben ser ejecutados por el Estado. En ellos, el financiamiento se efectúa mediante los aportes presupuestarios, empleo de fondos propios de la entidad inversionista y préstamos internos o de organismos internacionales.

#### b) Instrumentos de análisis financiero

**Instrumentos más usados.** El análisis financiero se facilita mediante el uso de ciertos instrumentos, entre los cuales los de mayor uso son: el cuadro de fuentes y usos de fondos y el gráfico de punto de nivelación. Estos instrumentos no son competitivos entre sí, sino complementarios.

**Fuentes y usos de fondos.** Al cuadro o estado de fuentes y usos de fondos se le denomina también cuadro o estado de origen y aplicación de fondos. La palabra fondos se aplica aquí con un criterio amplio, es decir, no significa únicamente dinero en efectivo o saldos bancarios, sino todo valor económico o forma de pago. Cuando se define fondo con un criterio reducido, se tiene un estado de movimiento de caja.

El estado de fuentes y usos de fondos se puede elaborar, para la inversión o la operación del proyecto, en forma separada. También, puede prepararse uno integral que especifique los fondos necesarios y las fuentes previstas para ambas etapas del proyecto.

El objetivo de este estado financiero es mostrar que el proyecto puede contar con los fondos necesarios para su ejecución y que, durante el funcionamiento del mismo, éste podrá generar u obtener de alguna forma los fondos para cubrir por lo menos sus costos de operación y el servicio de los créditos que se hubieren obtenido. Debe incluir, por lo tanto, flujos financieros, además de los flujos reales por venta o arrendamiento de bienes y servicios.

Los datos básicos para la preparación del cuadro de fuentes y usos de fondos provienen del calendario de inversiones, y de los cuadros de costos e ingresos de operación del proyecto, además del análisis de las varias alternativas de financiamiento.

La presentación de este cuadro puede ser muy variada, dependiendo del desglose que se haga de los rubros básicos que lo integran. A manera de ejem-

plo, se inserta un cuadro para los períodos de instalación y funcionamiento del proyecto. Este fue extraído del Manual de Proyectos de Desarrollo Económico de las Naciones Unidas.

**Cuadro integrado de fuentes y usos de fondos  
para los períodos de instalación y funcionamiento**

	INSTALACION (años)	FUNCIONAMIENTO PROGRESIVO (años)	FUNCIONAMIENTO NORMAL (años)
<b>A. FUENTES:</b>			
1. Capital propio o recursos presupuestarios			
2. Préstamos a largo y mediano plazo:			
a) bancos			
b) bonos			
3. Préstamos a corto plazo:			
a) bancos			
b) proveedores			
4. Ventas			
5. Saldo del año anterior			
6. Total fuentes			
<b>B. USOS:</b>			
7. inversión fija			
8. Activo en cuenta corriente:			
a) aumentos de inventario			
b) aumento de cuentas por cobrar			
9. Costos de producción (excluyendo depreciación e intereses por préstamos a largo plazo e incluyendo impuesto territorial e intereses a corto plazo)			
10. Pago crédito a corto plazo			
11. Impuesto a la renta			
12. Total usos			
13. Disponibilidad para pago de dividendos, servicios de crédito y formación de reservas (A-B)			
14. Pago de dividendos			
15. Servicio de créditos a largo y mediano plazo			
16. Saldo para el año siguiente			
17. Depreciación y otras reservas			

**Punto de nivelación.** Otro instrumento de análisis financiero es el punto de nivelación, que indica el nivel de producción en el cual el proyecto no obtiene ganancias ni pérdidas, es decir, es el punto donde se nivelan los costos totales de producción con los ingresos totales.

En el gráfico del punto de nivelación, en el eje vertical, se indicarán los costos totales y los ingresos, y en el eje horizontal, los volúmenes de producción en unidades físicas, a la correspondiente tasa de utilización de la planta.

En los costos no se incluyen los cargos por depreciación del equipo de capital ni los costos financieros. Es conveniente analizar qué efectos tendrán sobre el punto de nivelación las modificaciones de las variables más importantes, como son el precio del producto y los precios de ciertos insumos, materias primas y factores productivos.

Es muy posible que, durante algún período, el proyecto tenga que operar por debajo de su capacidad normal y, por tanto, es probable que durante un cierto período los costos superen a los ingresos. En este caso, el gráfico del punto de nivelación indicará el período para el cual es necesario el financiamiento adicional, y el tiempo durante el cual no se pueden prever pagos de los servicios de la deuda.

En la presentación del proyecto, se tendrá que incluir una justificación de las decisiones adoptadas en el estudio financiero en relación a los resultados de los estudios de mercado, técnico y de evaluación.

Como conclusión del estudio financiero, se explicará si la entidad a cargo del proyecto cuenta o no con la capacidad financiera para realizarlo y operarlo.

### c) Errores más frecuentes en el estudio financiero

Dado que la etapa de preparación y presentación de un proyecto de inversión tiene su punto de partida en las conclusiones de los estudios de mercado y técnico, los errores allí cometidos serán trasladados al estudio financiero. Si los ingresos y costos reales del proyecto están deficientemente calculados, los requerimientos financieros estarán sujetos a alteraciones.

Respecto de los errores propios del estudio, éstos se producen principalmente por no considerar todas las alternativas posibles y por la estimación del costo de capital pertinente. Esto es cierto, especialmente, respecto del costo de los fondos propios generados por el proyecto, cuyo costo de capital es la rentabilidad que se podría obtener en la mejor alternativa de inversión existente en el momento para esos fondos.

Asimismo, no es correcto considerar los cargos por depreciación y obsolescencia del capital como parte de los flujos financieros, ya que ellos sólo son cargos contables, sin realización efectiva.

También es común no tomar en cuenta los ingresos provenientes de la venta de activos, en los casos de reposición o término de la vida útil de un bien.

Por último, respecto de los ingresos, se comete el error de considerar que todo lo que produce el proyecto se vende.





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**D I P L O M A D O**

**PREPARACION Y EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS**

**MOD. VI.- PREPARACION Y TOPICOS ESPECIALES DE PROYECTOS**

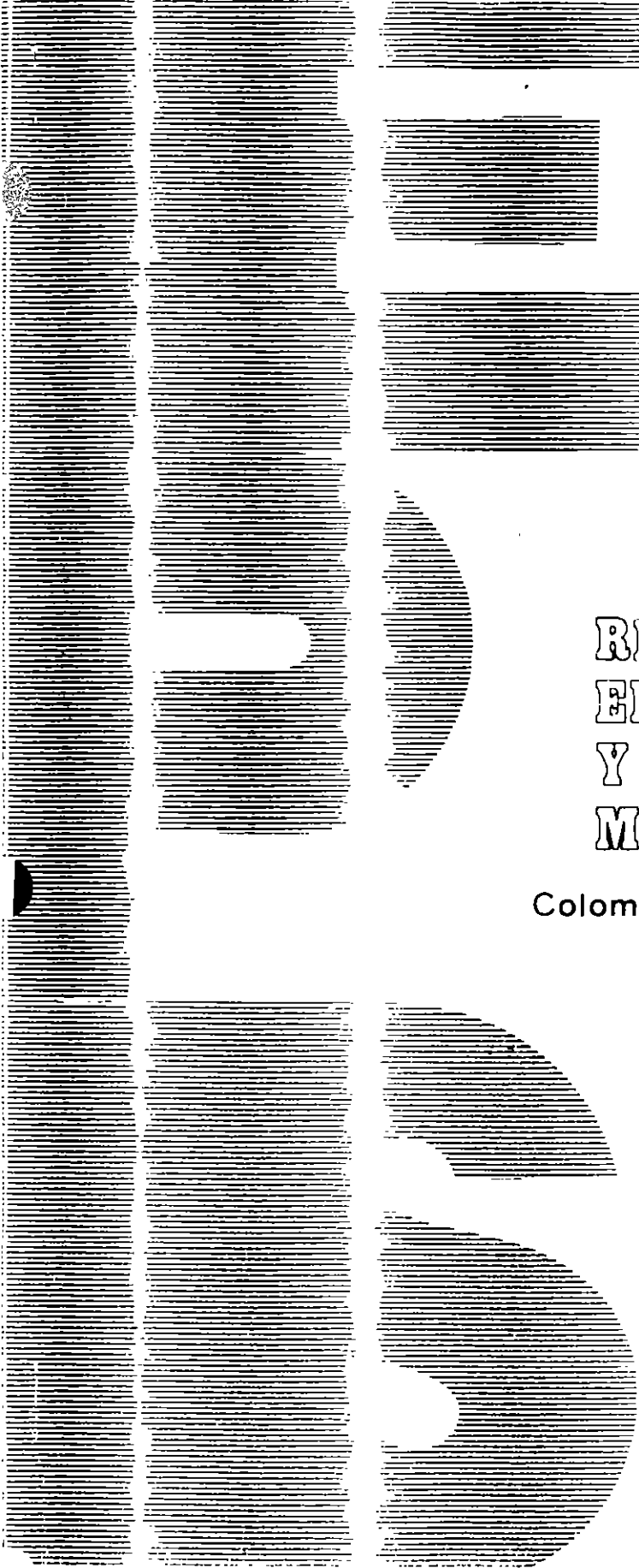
**RENTABILIDAD DE LA EDUCACION PRIMARIA Y**

**SECUNDARIA EN MENDOZA**

**MODELO TEORICO**

Palacio de Minería

1995



**RENTABILIDAD DE LA  
EDUCACION PRIMARIA  
Y SECUNDARIA EN  
MENDOZA**

**Coloma Ferrá y Ana María Claramunt**

**Dpto. de Disciplinas Económicas  
Facultad de Ciencias Económicas  
Universidad Nacional de Cuyo  
Mendoza - 1985**

## II. MODELO TEORICO

### A. Consideraciones generales

El hecho de proveer cierta escolaridad adicional a un educando implica incurrir en ciertos costos y también que se obtendrán ciertos beneficios debidos a esa mayor escolaridad.

Esos beneficios y costos adicionales pueden estimarse desde distintos puntos de vista: privado y social. Si consideramos el punto de vista privado del educando o su familia, ellos tomarán en cuenta los beneficios por ellos percibidos (presentes y futuros) y los costos que ellos deben afrontar para conseguir esa educación, tales como útiles escolares, libros, transporte hacia y desde la escuela, pagos que efectúan a la escuela (en caso de asistir a escuelas privadas), etc.

También se pueden comparar los beneficios y costos privados para una escuela en particular, en cuyo caso los beneficios son los ingresos que percibe como pago por la educación que imparte, y los costos están asociados a los insumos que utiliza para ello, tales como tiempo de los maestros o profesores, material didáctico, bienes muebles e inmuebles, etc.

Desde el punto de vista social, en cambio, interesan los beneficios y costos que el país (o la provincia o región considerada) tiene por el hecho de impartir esa educación adicional. Es decir que se trata de estimar los beneficios que recibe la sociedad en su conjunto y los costos en que ella debe incurrir para proveer esa escolaridad, independientemente de quiénes sean los que reciben los beneficios y de quiénes sean los que pagan los costos. Lo que interesa en este caso es qué recursos pierde el país debido a esa educación adicional y qué gana el país debido a ello. Con esto no pretendemos afirmar que no haya efectos redistributivos a causa de la mayor educación impartida, pero éste es un aspecto que no trataremos en este trabajo.

Como beneficios de la educación desde el punto de vista social incluiremos la mayor productividad que tiene una persona por el hecho de haber recibido una mayor educación. Existen otros beneficios que no son fáciles de cuantificar. Por otro lado, podemos clasificar a los costos desde el punto de vista social en tres grupos principales: a) los insumos necesarios para que la escuela provea educación, tales como tiempo del personal docente y no

docente, edificios y terrenos, mobiliario, material didáctico, etc; b) tiempo de los alumnos, dedicado a asistir a la escuela y a estudiar; c) otros insumos proveídos por los alumnos, como útiles escolares, libros, transporte, etc.

Más adelante analizaremos esos beneficios y los costos de la educación, desde el punto de vista social y del privado de los educandos.

En definitiva, lo que nos interesa es llegar a estimar la tasa interna de retorno de la educación primaria y de la secundaria, teniendo en cuenta básicamente los beneficios y los costos sociales de la educación. Entre ellos quedarán excluidos los no cuantificables, y es razonable suponer que los beneficios no cuantificables son mayores que los costos no cuantificables, por lo cual obtendremos una subestimación de la tasa interna de retorno.

#### B. Análisis de costo - beneficio

Uno de los métodos más aplicados para evaluar las inversiones en educación consiste en comparar los costos con los beneficios, todos debidamente actualizados utilizando la tasa de descuento social o privada, según el punto de vista elegido para realizar la evaluación.

Sin embargo, dado que se suelen estimar los costos y beneficios por alumno o por egresado, en lugar de hacerlo para el conjunto de alumnos que recibirían educación a través del tiempo, suele usarse como criterio para evaluar la conveniencia de la inversión, la tasa interna de retorno. Ella se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los costos con el valor presente de los beneficios.

Si se compara la tasa obtenida con la que surge de otras inversiones (por ejemplo: un proyecto sanitario, la construcción de un dique, un proyecto industrial, etc.), el resultado proporciona un criterio para tomar decisiones que, si bien está sujeto a críticas, constituye por lo menos una base aproximada para tomar una decisión en materia de inversión.

Este criterio también se usa para decidir entre diferentes proyectos de educación. Por ejemplo, puede ayudar a decidir si conviene invertir más en educación primaria que en secundaria, o si es más conveniente destinar fondos para ciertas profesiones, en lugar de otras. También puede servir para reforzar inversiones en aquellos cursos que acusan mayor deserción, si desde el punto de vista económico-social esos cursos contribuyen a mejorar más la productividad en relación a otros.

La aplicación del análisis costo-beneficio a las inversiones en educación ha sido objeto de diversas críticas.

Muchas de las críticas radican en el hecho de considerar a la educación como un bien de consumo más que como una inversión de productividad futura. Esta es la idea tradicional, la que da argumentos para señalar que el enfoque de costo-beneficio es muy mecánico y que la educación debe interpretarse como un "bien moral", cuyo retorno está más allá de toda medida.

Sin embargo, se ha probado (8) que por lo menos una parte de los ingresos por servicios personales constituye un retorno a la inversión en un bien de producción durable. Sin duda hay objeciones al enfoque de tomar los ingresos como aproximación de los beneficios de la educación, a saber:

- a) Lo que ya hemos dicho, o sea que hay beneficios no pecuniarios, que no son captados al tomar la variable ingresos.
- b) Por otro lado, las diferencias de ingresos pueden estar causadas por otras variables fuera de la educación:
  - Habilidad, vocación, clase social, inteligencia, educación y/o profesión de los padres, etc. En algunos estudios, se ha logrado aislar el efecto de algunas de estas variables (9). En ciertos casos, otras variables fuera de la educación y la edad, no han demostrado tener influencia muy acentuada en los ingresos. (10)
  - Algunos ingresos más altos pueden ser rentas de monopolio en el sentido de que para algunas profesiones hay restricciones para entrar en ellas, o bien se trata de estudios caros que solo pueden ser pagados por los padres pudientes.

Por otra parte, hay críticas que apuntan al hecho de que el análisis de costo-beneficio es un estudio de corte transversal. Desde este punto de vista se señala que las diferenciales de ingresos correspondientes a distintas escolaridades, suelen ser menores que las que surgen del estudio de corte transversal, ya que a medida que se difunde más la educación, en las

(8) Véanse, por ejemplo: BECKER, Gary, Human Capital. A theoretical and empirical analysis, with special reference to education (N. York, Columbia Univ., 1964) y SCHULTZ, Theodore W., Valor económico de la educación, trad. por S. Tancredi (México, Uteha, 1968).

(9) Por ejemplo, véase CARNOY, Martin, The Cost and Return to Schooling in Mexico: a Case Study, tesis doctoral presentada en la Universidad de Chicago (1964).

(10) BECKER, Gary, op. cit., págs. 79/88.

futuras cohortes las diferenciales de ingreso tienden a achicarse. Sin embargo, hay quienes opinan que al mejorar la educación en todos los niveles, las diferenciales se agrandarían.

Pero esta objeción de que las estimaciones de corte transversal ignoran los futuros cambios en las corrientes de ingresos y costos, es subsanable ya que puede hacerse análisis de sensibilidad simulando distintas tasas de variación en el tiempo.

Se suele incluir también entre las críticas, aunque no afecta al método en sí sino a su aplicación, el problema de la elección de la tasa alternativa pertinente para comparar con la tasa interna de retorno social, cuando hay que tomar decisiones desde el punto de vista social. Para resolver este problema, existen varias propuestas. (11)

Hay quienes no aceptan el análisis de costo-beneficio para tomar decisiones en materia de inversiones en educación y, en general, no lo admiten para proyectos sociales. (12)

Hay que tener presente, como lo señala Guadagni (13), que si bien las inversiones públicas en cuanto a proyectos sociales están al margen del mecanismo del mercado, esto no implica que las decisiones estén "al margen del cálculo económico, en particular del análisis de costo-beneficio". Como lo enfatiza Musgrave "la jerarquía de necesidades sociales tiene todavía que medirse en relación con la renta disponible y los recursos escasos". (14)

Anticipamos que en nuestro trabajo la tasa de rentabilidad calculada es media (no marginal) y tiene carácter histórico; por lo tanto, solo puede usarse como base de otros estudios.

Admitimos que el análisis de costo-beneficio es solo una técnica útil para tomar decisiones sociales; es una parte de los elementos a tener en cuenta, pero una parte importante. Puede complementarse con indicadores

(11) BLAUG, M., The Rate of Return on Investment in Education, en Economics of Education 1, Selected Readings, editado por BLAUG, M. (EE.UU., Penguin, 1968), págs. 251/252.

(12) Véase el comentario que preparó para nuestro trabajo la Lic. Nelly Barbieri en la XIXa. Reunión de la Asociación Argentina de Economía Política (Iguazú, 1984).

(13) GUADAGNI, Alieto, en comentario al trabajo de Raúl E. Cuello "Los efectos distributivos del gasto público", en O.D.U.C.A.L., La distribución del ingreso (Buenos Aires, Macchi, 1982), pág. 246.

(14) MUSGRAVE, Richard A., Teoría de la hacienda pública, trad. por J. M. Lozano I. (Madrid, Aguilar, 1969), pág. 91.

sociales. (15)

### C. Beneficios de la educación

#### 1. Diversos beneficios

La educación es un bien sui-generis que participa de las características de un bien individual y de las correspondientes a un bien público. Algunos, como Blaug (16), lo consideran un bien "quasi-público". Según Gines tar (17) la educación puede ser en parte un bien individual y, en parte, un bien público y, en cada uno de esos aspectos, puede ser un bien final o intermedio. Por bien final se entiende que es un bien de consumo y como bien intermedio se lo puede tratar como una inversión.

Dadas esas características de la educación, es difícil clasificar en forma estricta cuáles son los beneficios privados y cuáles los sociales. Por otra parte, algunos beneficios son directos (para el individuo o la sociedad), en tanto que otros son indirectos. Además, unos son cuantificables y otros no.

Como bien de consumo, los beneficios son fundamentalmente subjetivos y por lo tanto no son medibles, o bien su evaluación es muy difícil. Por ejemplo, para algunos la educación es un placer directo al recibirla e indirecto porque les permite leer libros que les dan satisfacción o les permite acceder a centros culturales, etc. Para otros, es un beneficio negativo, ya que van a la escuela por obligación, pero no porque les guste.

También hay beneficios indirectos que se derivan de la educación como bien de consumo. Por ejemplo, una persona con mayor educación, puede influir en la educación de su familia, de sus vecinos, de sus empleados, etc.

Como inversión, la educación genera beneficios: a) puede aumentar las posibilidades de producción; b) puede reducir costos; y c) puede mejorar las posibilidades de bienestar. Entre ellos, hay beneficios que recibe directamente el estudiante (18):

(15) MISHAN, E.J., Cost - Benefit Analysis, 2a. ed. (Londres, Allen & Unwin, 1981), págs. 412/413.

(16) *Ibidem*, pág. 250.

(17) GINESTAR, Angel, La técnica de evaluar proyectos y su aplicación a la educación, en GINESTAR, A., ANUNZIATA, A. y FERRA, C., Evaluación de la inversión en educación, en serie "Cuadernos" de la F.C.E. - U.N.C., sección Economía, n° 22 (Mendoza, 1968), pág. 1.

(18) WEISBROD, B.A., External effects of investment in education, en Economics of Education 1, Selected Readings, editado por BLAUG, M. (EE.UU., Penguin, 1968), págs. 159/169.

- Retorno directo, que se traduce en mayores ingresos futuros, aunque no todo se debe a educación, ya que por ejemplo pueden percibir más ingresos, por mayor inteligencia, más ambición, adiestramiento en la fábrica, etc.
- Retorno opcional, por el valor de la oportunidad de obtener aún más educación.
- Opciones no pecuniarias, como por ejemplo la posibilidad de conseguir trabajos con más rapidez.
- Retornos extra-mercado: por ejemplo, el que prepara su propia declaración de impuesto por estar capacitado y, por consiguiente, no debe pagar a otro por ese servicio.

Entre los beneficios externos al alumno, cabe citar:

- La liberación del tiempo de las madres mientras los niños están en la escuela. A esto se lo suele llamar "efecto guardería".
- El aumento de bienestar de los vecinos mientras los niños están en la escuela (no molestan con ruidos en las calles, etc.)
- Beneficios relacionados con el empleo: si en la comunidad hay más obreros preparados, eso puede beneficiar a otros obreros por la elevación de su productividad.
- Beneficios para la sociedad en general: por ejemplo, al ser la sociedad más educada, disminuyen los problemas causados por crímenes y son menores los costos por seguridad.

Por otra parte, los beneficios pueden ser a corto plazo (por ejemplo, mientras se recibe la educación, como es el caso de la liberación del tiempo de las madres, o los efectos sobre los vecinos) o a mediano o largo plazo (que se perciben después del período de educación).

No obstante que muchos de los beneficios de la educación no son cuantificables, si los que son medibles indican que la inversión es rentable, con mayor razón se justificaría la decisión de invertir en educación si se incluyeran los que no se pueden evaluar.

## 2. Beneficios considerados en el modelo

De los beneficios mencionados anteriormente, solo estimaremos los que se refieren a una mayor productividad de la persona que recibe la educación.

Diversos estudios en el área de la economía de la educación han mostrado que la productividad de un individuo depende de su escolaridad, su habilidad, su experiencia en el trabajo (o edad, ya que ambas están estre-



chamente relacionadas) y de otras variables de difícil medición, tales como medio ambiente, relaciones familiares, etc.

Por otra parte, en una economía de mercado, el precio de demanda del trabajo de cierta categoría puede considerarse como una aceptable estimación del valor de la productividad del individuo.

En nuestro caso, suponemos que

$$Z = f(S, E) \quad |I|$$

donde Z = precio de demanda del factor trabajo (pago por el trabajo de una persona durante un año).

S = años de escolaridad efectiva.

E = edad de la persona.

En la literatura sobre el tema se han utilizado diversas formas de ecuaciones para realizar las estimaciones. La que ha dado mejores resultados es la función exponencial, especificada de tal manera que implique lo siguiente:

- a) Quien no tiene nada de escolaridad, percibe de todos modos, algún ingreso.
- b) Cuanto mayor es la escolaridad, mayores son los ingresos.
- c) Los ingresos aumentan con la edad, aunque a partir de cierta edad pueden decrecer.

Para efectuar la estimación de esa ecuación utilizamos los datos provenientes de la Encuesta Permanente de Hogares. Esos datos se refieren a ingresos netos de un mes de las personas ocupadas en el momento de la encuesta. Por lo tanto, antes de estimar la ecuación, realizamos las siguientes consideraciones:

- a) Lo que cobra el trabajador mensualmente es el sueldo básico menos los descuentos que se le efectúan (jubilación, obra social, etc.) más el salario familiar, si corresponde. Teniendo todo esto en cuenta, los ingresos se pueden expresar como función del sueldo básico.
- b) Los ingresos declarados en la encuesta son presumiblemente netos de impuestos a las ganancias, pero no hicimos ningún ajuste por este concepto por suponer que la mayoría de las personas con educación primaria y secundaria no paga ese impuesto debido a su bajo nivel de ingresos.
- c) Los aportes patronales se calculan sobre el sueldo básico

(obra social, salario familiar, etc.) (19). Por lo tanto, expresamos el pago mensual del empleador en función del suel básico.

- d) A los efectos de convertir ese pago mensual en anual, lo multiplicamos por 13: 12 meses y sueldo anual complementario (20) y le agregamos un cierto porcentaje para tener en cuenta el costo de las vacaciones que se le da al empleado.
- e) No efectuamos ningún ajuste por desempleo debido a que en el momento para el cual obtuvimos los datos la tasa de desempleo era muy baja, lo cual permitía suponer que se trataba solo de desempleo friccional. (21)

Teniendo en cuenta lo anterior, llegamos a estimar los precios de demanda del factor trabajo (anuales) para cada individuo encuestado. Los ingresos mensuales observados (Y) son, según la consideración a), una cierta proporción ( $\alpha$ ) del sueldo básico mensual (A):

$$Y = \alpha A \quad \text{|II|}$$

Por otra parte, según c) y d), el precio anual de demanda del trabajo es una cierta cantidad ( $\beta$ ) de sueldos básicos mensuales:

$$Z = \beta A \quad \text{|III|}$$

Reemplazando |II| en |III| obtenemos:

$$Z = \frac{\beta}{\alpha} Y \quad \text{|IV|}$$

que es lo que debíamos estimar para cada individuo.

Este dato (Z) es el que utilizamos para estimar |I|.

El gráfico N° II. 1 representa una función exponencial del tipo indicado, que resulta en una familia de curvas, una para cada nivel de escolaridad.

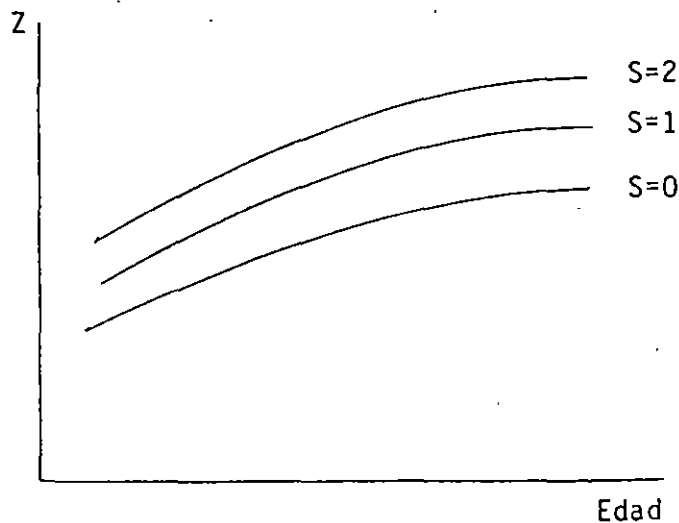
Entonces, cada punto de los perfiles del gráfico N° II. 1 indica, una vez estimado, el valor de la productividad anual promedio de una persona

(19) En octubre de 1980, mes para el cual hicimos las estimaciones, no se pagaba el aporte patronal jubilario.

(20) En rigor, por tratarse de un período con inflación, el sueldo anual complementario no corresponde a un mes de sueldo en términos reales, sino algo menos. No estaba aún vigente la ley según la cual el sueldo anual complementario se calcula a partir del sueldo del mes en el cual se paga.

(21) Era de aproximadamente el 3%.

Gráfico N° II. 1



de cierta edad y cierta escolaridad en un mes dado (el mes de la encuesta). Es decir, que es la resultante de obtener una fotografía de la situación de personas de distintas edades y escolaridades. Pero lo que en realidad nos interesa es cuál sería el valor de la productividad de una persona con distintos niveles de escolaridad, a lo largo de toda su vida activa. Entonces, a los perfiles anteriores hay que hacerle dos tipos de ajuste:

- a) A cada  $Z$  estimado para una cierta escolaridad y edad ( $Z_S^E$ ), hay que multiplicarlo por la probabilidad de estar con vida a cada edad, ( $V^E$ ), partiendo del supuesto que el individuo está con vida a los 6 años, edad en la que ingresa al sistema escolar primario. Teniendo esto en cuenta, se obtiene el valor esperado del valor de la productividad anual para cada edad y escolaridad ( $W_S^E$ ):

$$W_S^E = Z_S^E \cdot V^E \quad |V|$$

- b) Además, se puede suponer que históricamente se producen aumentos en la productividad de los individuos. Si es así, habrá que considerar una cierta tasa de crecimiento de los  $W$  a través del tiempo.

Una vez estimadas, de acuerdo a lo explicado, las productividades esperadas que tendría una persona con cada edad y cada nivel de escolaridad, es posible obtener el aumento de productividad esperada logrado por el hecho de tener un año más de educación. Para cada edad, se obtiene la diferencia entre la estimación del valor de la productividad para cierta escolaridad  $S$  y la estimación para la escolaridad  $S-1$ . Esos beneficios se producirán durante toda la vida laboral de la persona.

### 3. Costos sociales

Es necesario aquí tener en cuenta todo lo que para el país representa un uso de recursos productivos como consecuencia de prestar un servicio educativo.

Una parte de los costos se incurre anualmente (o en períodos menores) y otra parte cada cierto número de años. En todos los casos nos interesa, en primer lugar, obtener el costo anual por alumno.

Para analizar los costos sociales de la educación tomaremos la clasificación ya indicada anteriormente.

#### a) Insumos que provee la escuela

Dentro de este grupo tenemos lo siguiente:

##### 1°) Edificios y terrenos:

Edificios escolares

Terrenos

Mantenimiento de edificios

##### 2°) Personal: docente y no docente

##### 3°) Otros costos:

Mobiliario

Artículos de escritorio

Material didáctico

Material de limpieza

Servicios básicos (electricidad, gas, etc.)

Administración.

Los datos para estimar los costos anuales se pueden obtener de los presupuestos nacionales o provinciales (ejecutados) en el caso de escuelas oficiales, o directamente de información proveída por las escuelas, en el caso de las privadas.

Es necesario hacer una distinción entre aquellos costos que se repiten cada año (costo del personal, mantenimiento, servicios básicos, etc.) y los que se producen cada cierta cantidad de años, como los edificios, mobiliario, etc. En este último caso es necesario, partiendo de las inversiones realizadas, estimar un costo equivalente anual, es decir, traducir el costo incurrido como consecuencia de, por ejemplo, la compra de un edificio, a costo anual. Para ello hay que tener en cuenta que en ese costo anual se deben

incluir dos elementos: el interés del capital invertido y la depreciación anual. La fórmula usualmente utilizada, que refleja ambos aspectos es la siguiente:

$$\text{Costo equivalente anual (CEA)} = \frac{(1+r)^n r}{(1+r)^n - 1} K \quad (22)$$

donde K = costo del bien de capital

r = tasa de interés anual que representa el costo alternativo del capital

n = vida útil del bien de capital (en años).

Los costos anuales en que incurre la escuela corresponden al total de alumnos existente en cada año. Para obtener el costo total por alumno, se divide por la cantidad de alumnos.

#### b) Insumos proveídos por los alumnos

Los ítems más importantes dentro de este grupo son: el costo del transporte hacia y desde la escuela, los útiles escolares y libros, y la vestimenta (parcialmente).

La estimación de estos costos puede hacerse a través de encuestas a los alumnos (o a sus madres) que se encuentran en distintos grados escolares, con lo cual se obtiene el costo por alumno y por año.

Es de hacer notar que a veces una parte de los elementos escolares es proveída por cooperadoras o instituciones de bien público, pero en cualquier caso representan un costo para el país porque se utilizan recursos productivos que podrían utilizarse para otras finalidades.

#### c) Tiempo de los alumnos

Para poder recibir más educación, el alumno debe dedicar parte de su propio tiempo a asistir a clase y a estudiar. Ese tiempo tiene un valor, a veces difícil de medir. Si la mejor alternativa de uso de ese tiempo fuera trabajar, el costo sería el valor de la producción perdida por el hecho de no trabajar y podría estimarse a través del precio de demanda del traba-

(22) Esta fórmula tiene dos componentes:  $r + \frac{r}{(1+r)^n - 1}$ . El primero es el

interés y el segundo la depreciación del bien y supone que éste se deprecia en igual proporción durante todos los años de su vida útil.

jo. En cambio, si la mejor alternativa es el ocio de la persona, es más difícil estimar el costo de ese tiempo. Sin embargo, seguramente ese valor no está demasiado lejos del precio de demanda del trabajo, por lo cual se puede tomar este último como aproximación.

En el caso especial de la enseñanza primaria, los alumnos están en una edad en la cual está legalmente prohibido trabajar. Ello obviamente implica que el valor que la sociedad le atribuye al ocio de las personas en esa edad es igual o superior a lo que podrían ganar si trabajaran. Por lo tanto creemos que es adecuado tomar la estimación del valor de su productividad marginal como aproximación del valor del tiempo dedicado a asistir a la escuela y a estudiar. Para el cálculo de este costo hay que tener en cuenta la duración del ciclo lectivo.

Así se obtiene también el costo por alumno y por año.

#### 4. Comparación de beneficios con costos

A los efectos de obtener la tasa interna de retorno promedio para un cierto ciclo educativo, primario o secundario, es necesario comparar los costos promedio por alumno con los beneficios promedio por alumno.

En las secciones anteriores vimos cómo se puede obtener el costo por alumno y año y cómo estimar los beneficios medibles correspondientes a un año adicional de escolaridad.

Sin embargo, para efectuar la comparación es necesario tener en cuenta dos hechos importantes:

a) Hay alumnos que repiten cursos y por lo tanto aumentan el tiempo de permanencia en el sistema educacional. La consecuencia es que los costos educacionales aumentan y se posterga la obtención de los beneficios.

b) No todos los alumnos completan el ciclo educacional analizado (primario o secundario). Es decir que se producen deserciones antes de completar cada ciclo.

Puede considerarse que la duración promedio en cada curso  $i$  es de un año más la tasa de repitencia de ese curso ( $R_i$ ). Así, a) para completar el primer curso se requieren  $(1 + R_1)$  años; b) para completar el segundo curso (a partir de  $S = 0$ ) se requieren  $(2 + R_1 + R_2)$  años; c) para completar el tercer curso (a partir de  $S = 0$ ) se requieren  $(3 + R_1 + R_2 + R_3)$  años, etc.

Los costos, por lo tanto, se producen durante más tiempo que la duración teórica. Supondremos, en este caso, que son proporcionales al tiempo

de permanencia en el sistema educacional. (23)

Teniendo en cuenta los desertores de cada curso se puede obtener la probabilidad de llegar a cada curso y desertar ( $P_S$ ), o sea alcanzar la escolaridad  $S$ .

Luego, asociando cada  $P_S$  con los costos y los beneficios de lograr cada nivel de escolaridad (es decir, cada  $S$ ), se obtiene el beneficio neto total promedio.

Así, el valor actual del beneficio neto del ciclo educativo primario que tiene 7 cursos, será:

$$VABN_T = \sum_{S=1}^7 P_S \cdot VABN_S \quad |VI|$$

donde  $VABN_S = VAB_S - VAC_S$

$VAB_S$  = valor actual del beneficio adicional por haber alcanzado el nivel educativo  $S$  a partir de cero educación.

$VAC_S$  = valor actual del costo de alcanzar el nivel  $S$  a partir de cero educación.

Los  $VAB_S$  se obtienen de sumar los valores actuales de las diferencias entre las productividades correspondientes a la escolaridad  $S$  y a cero escolaridad, para cada edad.

Los  $VAC_S$  se obtienen sumando los valores actuales de todos los costos incurridos para alcanzar la escolaridad  $S$  a partir de cero escolaridad.

Los  $P_S$  se obtienen a partir de las tasas de deserción.

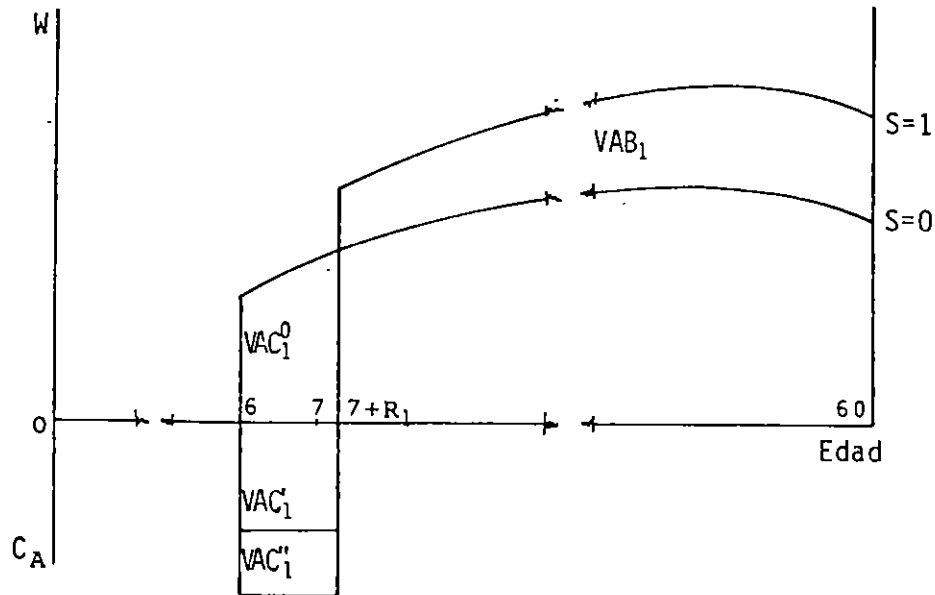
En nuestro estudio, actualizamos todos los valores al momento cero, definido como el momento de entrada al ciclo escolar analizado: 6 años en el caso del ciclo primario y 13 en el caso del secundario. Por simplicidad, suponemos que los costos y beneficios correspondientes a cada año se producen al comenzar el período.

Para actualizar los valores, utilizamos varias tasas de interés ( $r$ ) alternativas con el objeto de obtener la tasa interna de retorno, que es la que hace  $VABN_T = 0$ .

(23) Probablemente hay ciertos costos que no se duplican al repetir un curso como por ejemplo los libros de estudio, pero ello constituye un pequeño porcentaje de los costos totales.

Veremos cómo obtener los valores actuales de los beneficios y costos correspondientes a dos niveles educativos y luego haremos una generalización para la enseñanza primaria y otra para la secundaria.

Para los que alcanzan 1 año de escolaridad y luego desertan:



Desde la edad 6 hasta la edad  $(7 + R_1)$  se incurre en costos:

a)  $VAC_1^0$ : el valor actual del tiempo de un estudiante que no tiene ninguna escolaridad ( $W_0^E$  para la edad 6 y parte del de la edad 7):

$$VAC_1^0 = W_0^6 + \frac{W_0^7 (1 + \lambda)}{(1 + r)} \cdot R_1$$

donde  $\lambda$  = tasa de crecimiento anual de la productividad del trabajo.

b)  $VAC_1^i$ : el valor actual del costo en que incurre la escuela para dar educación durante  $(1 + R_1)$  años, por alumno:

$$VAC_1^i = C_A^i + \frac{C_A^i (R_1)}{(1 + r)}$$

donde  $C_A^i$  es el costo anual, por alumno, en que incurre la escuela. (24)

(24) El costo  $C_A^i$  incluye como principal componente costos en concepto de personal docente y no docente del sistema educativo. Por lo tanto puede suponerse que ese costo también aumenta a través del tiempo a la misma tasa  $\lambda$  de crecimiento anual de la productividad del trabajo. Si es así, los  $C_A^i$  aumentarán a través del tiempo y se tendrá un costo anual a cargo de la escuela  $C_{A_t}^i$  distinto para cada año calendario (t).

Entonces será:

$$VAC_1^i = C_{A_0}^i + \frac{C_{A_1}^i (R_1)}{(1 + r)}$$



c)  $VAC_1''$  : el valor actual de los otros costos en que incurre, en promedio, un alumno durante  $(1 + R_1)$  años:

$$VAC_1'' = C_A'' + \frac{C_A'' (R_1)}{(1+r)}$$

donde  $C_A''$  es el costo anual por alumno en concepto de otros costos a cargo de los alumnos. (25)

Desde la edad  $(7 + R_1)$  y hasta la edad 60, en que suponemos que la persona se jubila se obtienen los beneficios, que consisten en el valor actual de las diferencias de productividades entre personas que tienen un año de escolaridad ( $S = 1$ ) y personas que no tienen ninguna escolaridad ( $S = 0$ ):

$$VAB_1 = \frac{(W_1^7 - W_0^7)(1+\lambda)(1-R_1)}{(1+r)} + \frac{(W_1^8 - W_0^8)(1+\lambda)^2}{(1+r)^2} + \frac{(W_1^9 - W_0^9)(1+\lambda)^3}{(1+r)^3} + \dots +$$

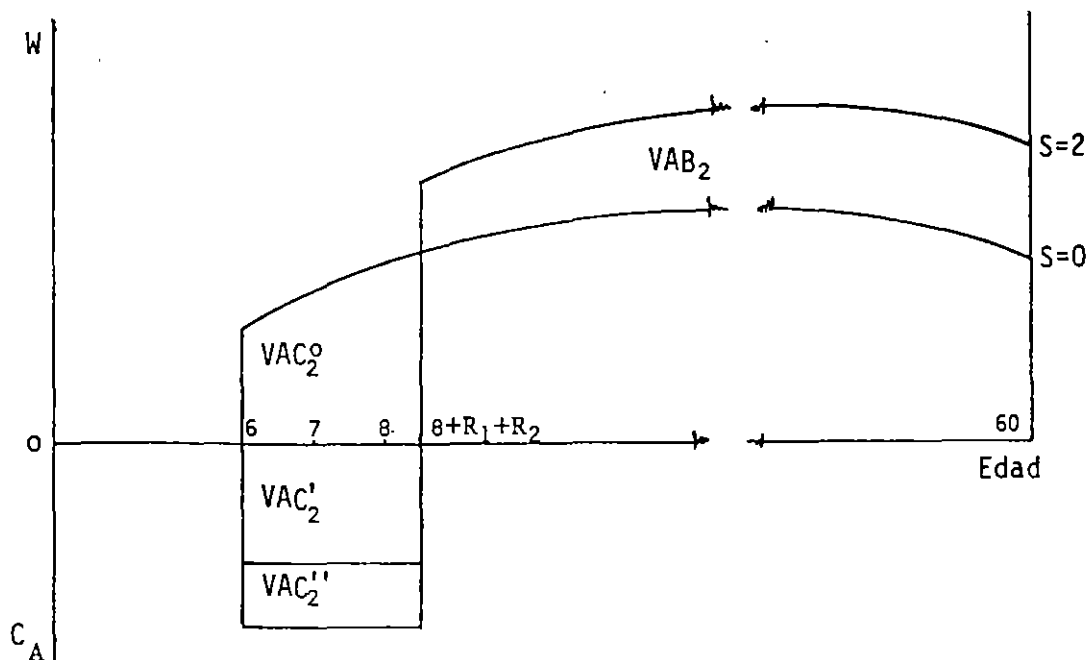
$$+ \frac{(W_1^{59} - W_0^{59})(1+\lambda)^{53}}{(1+r)^{53}}$$

Como ya vimos, de la diferencia entre el valor actual de los beneficios y el valor actual de todos los costos de alcanzar cada nivel de escolaridad  $S$  surgirá el valor actual de los beneficios netos correspondiente a ese nivel ( $VABN_S$ ). Cada uno de estos valores actuales se multiplica por la probabilidad de llegar a él y luego desertar y sumando los productos obtenidos para cada  $S$  obtendremos el beneficio neto total del ciclo escolar analizado.

(25) El costo  $C_A''$  puede también ser distinto para los diversos cursos del ciclo educativo, especialmente por los útiles, textos e indumentaria requerida. En ese caso tendremos un  $C_{A_i}''$  para cada curso  $i$ , y la fórmula será:

$$VAC_1'' = C_{A_1}'' + \frac{C_{A_1}'' R_1}{(1+r)}$$

Para los que alcanzan 2 años de escolaridad y luego desertan:



Desde la edad 6 hasta la edad  $(8+R_1+R_2)$  se incurre en costos:

$$a) VAC_2^0 = W_0^6 + \frac{W_0^7 (1+\lambda)}{(1+r)} + \frac{W_0^8 (R_1+R_2)(1+\lambda)^2}{(1+r)^2}$$

$$b) VAC_2^I = C_A^I + \frac{C_A^I}{(1+r)} + \frac{C_A^I (R_1+R_2)}{(1+r)^2}$$

$$c) VAC_2^{II} = C_A^{II} + \frac{C_A^{II}}{(1+r)} + \frac{C_A^{II} (R_1+R_2)}{(1+r)^2}$$

Desde la edad  $(8+R_1+R_2)$  hasta la edad 60 se obtienen los beneficios:

$$VAB_2 = \frac{(W_2^8 - W_0^8)(1-R_1-R_2)(1+\lambda)^2}{(1+r)^2} + \frac{(W_2^9 - W_0^9)(1+\lambda)^3}{(1+r)^3} + \frac{(W_2^{10} - W_0^{10})(1+\lambda)^4}{(1+r)^4} + \dots$$

$$\dots + \frac{(W_2^{59} - W_0^{59})(1+\lambda)^{53}}{(1+r)^{53}}$$

Generalizando, para cualquier S del ciclo primario (S = 1 a S = 7):

Costos:

$$a) VAC_S^0 = \sum_{t=0}^{S-1} \frac{W_0^{6+t} (1+\lambda)^t}{(1+r)^t} + \frac{W_0^{6+S} (1+\lambda)^S}{(1+r)^S} \sum_{i=1}^S R_i \quad \text{[VII]}$$

$$b) VAC_S^I = \sum_{t=0}^{S-1} \frac{C_A^I}{(1+r)^t} + \frac{C_A^I}{(1+r)^S} \sum_{i=1}^S R_i \quad (26) \quad \text{[VIII]}$$

$$c) VAC_S^{II} = \sum_{t=0}^{S-1} \frac{C_A^{II}}{(1+r)^t} + \frac{C_A^{II}}{(1+r)^S} \sum_{i=1}^S R_i \quad (27) \quad \text{[IX]}$$

Beneficios:

$$VAB_S = \frac{(W_S^{6+S} - W_0^{6+S})(1 - \sum_{i=1}^S R_i)(1+\lambda)^S}{(1+r)^S} + \sum_{t=S+1}^{53} \frac{(W_S^{6+t} - W_0^{6+t})(1+\lambda)^t}{(1+r)^t} \quad \text{[X]}$$

Para cualquier S del ciclo secundario (S = 8 a S = 13, si S se define como años de escolaridad total, en cuyo caso las fórmulas son [XI] a [XIV]. Sin embargo, si la variable S en el ciclo secundario se define como años de escolaridad secundaria, las fórmulas coinciden con las indicadas para el ciclo primario con una única modificación: en los supraíndices de W, donde aparece 6 debe reemplazarse por 13, que es la edad de iniciación del ciclo secundario).

Costos:

$$a) VAC_S^0 = \sum_{t=0}^{S-8} \frac{W_7^{13+t} (1+\lambda)^t}{(1+r)^t} + \frac{W_7^{6+S} (1+\lambda)^{S-7}}{(1+r)^{S-7}} \sum_{i=8}^S R_i \quad \text{[XI]}$$

(26) Si los  $C_A^I$  crecen a través del tiempo:

$$VAC_S^I = \sum_{t=0}^{S-1} \frac{C_{A_t}^I}{(1+r)^t} + \frac{C_{A_S}^I}{(1+r)^S} \sum_{i=1}^S R_i$$

(27) Si los  $C_A^{II}$  son distintos para cada curso i:

$$VAC_S^{II} = C_{A_1}^{II} + \sum_{t=1}^{S-1} \frac{C_{A_t}^{II} \sum_{i=1}^t R_i + C_{A_{t+1}}^{II} (1 - \sum_{i=1}^t R_i)}{(1+r)^t} + \frac{C_{A_S}^{II} \sum_{i=1}^S R_i}{(1+r)^S}$$

$$b) VAC'_S = \sum_{t=0}^{S-8} \frac{C'_A}{(1+r)^t} + \frac{C'_A}{(1+r)^{S-7}} \sum_{i=8}^S R_i \quad |XII|$$

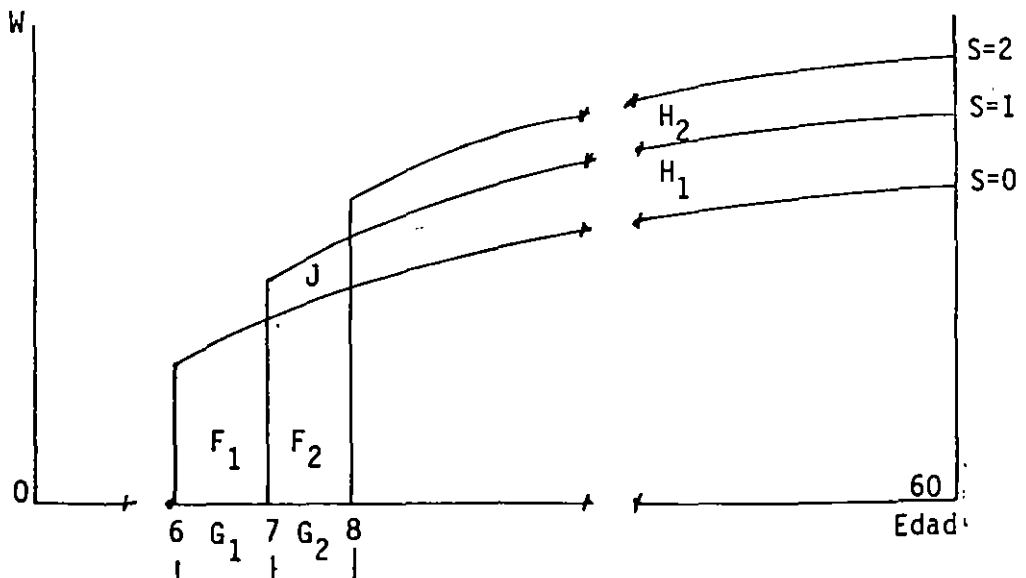
$$c) VAC''_S = \sum_{t=0}^{S-8} \frac{C''_A}{(1+r)^t} + \frac{C''_A}{(1+r)^{S-7}} \sum_{i=8}^S R_i \quad |XIII|$$

Beneficios:

$$VAB_S = \frac{(W_S^{6+S} - W_7^{6+S})(1 - \sum_{i=8}^S R_i)(1+\lambda)^{S-7}}{(1+r)^{S-7}} + \sum_{t=S-6}^4 \frac{(W_S^{13+t} - W_7^{13+t})(1+\lambda)^t}{(1+r)^t} \quad |XIV|$$

Para evitar dudas, queremos aclarar que en el cálculo de los costos del tiempo de los estudiantes, lo correcto es tomar como alternativa siempre lo dejado de producir por quien tiene cero educación. La explicación es la siguiente:

Si, por ejemplo, queremos estimar el  $VABN_2$ , o sea el valor actual de los beneficios netos de llegar a 2 años de escolaridad y suponemos, por simplicidad, que no existe repitencia, el esquema es el que sigue:



Para llegar a tener 1 año de escolaridad, los valores actuales de los costos del tiempo y de los beneficios son las siguientes áreas:

Valor actual de los costos del tiempo	$F_1$
Valor actual de los otros costos	$G_1$
Valor actual de los beneficios	$H_1 + J$

Al pasar de 1 año de escolaridad a 2 años, tenemos:

Valor actual de los costos del tiempo	$F_2 + J$
Valor actual de los otros costos	$G_2$
Valor actual de los beneficios	$H_2$

Evidentemente para quien llega a 2 años de escolaridad debemos sumar lo obtenido en las dos etapas anteriores, con lo cual:

Valor actual de los costos del tiempo	$F_1 + F_2 + J$
Valor actual de los otros costos	$G_1 + G_2$
Valor actual de los beneficios	$H_1 + H_2 + J$

El área J aparece como parte de los costos, pero como también es computable como beneficio, se puede eliminar de ambas estimaciones sin afectar los resultados.

#### Cálculo de las probabilidades:

Por otra parte, podemos obtener los  $P_S$  de la ecuación [VI] a partir de las tasas de deserción de cada curso  $i$  ( $D_i$ ):

Para los que entran al sistema educativo, la probabilidad de aprobar el primer curso y desertar coincide con la tasa de deserción del primer curso:

$$P_1 = D_1$$

La probabilidad de aprobar el segundo curso y desertar es igual a la probabilidad de no desertar en primero  $(1 - D_1)$  por la probabilidad de desertar en segundo ( $D_2$ ):

$$P_2 = (1 - D_1) D_2$$

La probabilidad de aprobar el tercer curso y desertar es igual a la Probabilidad de no desertar en primero  $(1 - D_1)$  por la probabilidad de no desertar en segundo  $(1 - D_2)$  por la probabilidad de desertar en tercero ( $D_3$ ):

$$P_3 = (1 - D_1)(1 - D_2) D_3$$

Generalizando para el ciclo primario, para  $S = 2$  a  $7$ :

$$P_S = \left[ \prod_{i=1}^{S-1} (1 - D_i) \right] D_S \quad |XV|$$

Debemos tener en cuenta que  $D_7 = 1$ , es decir, todos abandonan el ciclo primario después del séptimo curso.

$$\text{Además, } \sum_{S=1}^7 P_S = 1$$

o sea que todos los que ingresaron al ciclo primario deben salir en algún momento. (28)

Generalizando para el ciclo secundario:

$$P_8 = D_8$$

y para  $S = 9$  a  $13$ :

$$P_S = \left[ \prod_{i=8}^{S-1} (1 - D_i) \right] D_S \quad |XVI|$$

En este caso,  $D_{13} = 1$ , es decir, todos los que llegaron a 13 años de escolaridad (o 6 de escolaridad secundaria) abandonan el ciclo secundario.

Además,  $\sum_{S=8}^{13} P_S = 1$ , es decir que todos los que entraron al ciclo secundario lo abandonan en algún momento.

(28) En rigor de verdad, como nos lo hizo notar el Lic. Eusebio Cléto del Rey en su comentario a nuestro trabajo en la XIXa. Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política, habría que incluir también la probabilidad  $P_0$  que correspondería al caso de desertar antes de haber aprobado el primer curso, de modo que, en lugar de

$$\sum_{S=1}^7 P_S = 1 \quad \text{debería ser} \quad \sum_{S=0}^7 P_S = 1$$

Sin embargo, hemos planteado nuestro modelo teórico sin  $P_0$ , porque generalmente en la información estadística no se puede separar entre los de sectores de primer grado que aprobaron y los que no aprobaron.

### III. EDUCACION PRIMARIA

Para estimar la rentabilidad de la educación primaria en la provincia de Mendoza hemos aplicado el modelo teórico desarrollado en la sección II.

En esta sección veremos cómo hemos hecho las estimaciones de las distintas variables que intervienen.

#### A. Estimación de las productividades

Para estimar las productividades (o precio de demanda) del factor trabajo según la escolaridad y la edad de las personas, hemos utilizado básicamente los datos de la Encuesta Permanente de Hogares (EPH), realizada para el área urbana del Gran Mendoza en octubre de 1980. La EPH era la única información disponible sobre ingresos de las personas a nivel desagregado y con información adicional sobre escolaridad y edad. Por lo tanto, hemos tomado esa información como representativa de toda la provincia. (29)

El tamaño de la muestra en la onda de octubre de 1980 fue de 4.372 personas, pertenecientes a 1.118 familias, que representan aproximadamente el 8 ‰ del total de hogares del área definida como Gran Mendoza a los efectos de la encuesta.

Del total de personas encuestadas solo tomamos las que constituían la población económicamente activa ocupada y que tenían ingresos provenientes del trabajo personal: como obrero o empleado o como trabajador por cuenta propia. Es decir que excluimos los ingresos en concepto de utilidades y beneficios, alquileres, rentas, intereses y dividendos, jubilaciones o pensiones y otros ingresos. Con ello, trabajamos con datos de 1.416 personas. Por otra parte, hicimos otras estimaciones incluyendo aparte de los ingresos anteriores, las utilidades y beneficios, por considerar que probablemente también provenían del trabajo personal. En este caso, el número de observaciones se elevó a 1.488. (30)

(29) Elegimos la encuesta de octubre de 1980 por ser, al momento de iniciar este trabajo, la más reciente de las disponibles y además por la baja tasa de desempleo existente en ese momento (3,1%).

(30) Dado que la EPH se divide en 4 estratos, sería interesante hacer las estimaciones de ingresos por estratos, a los efectos comparativos, como nos han sugerido algunos colegas.

Es de hacer notar que, de acuerdo a esa encuesta, solo el 3,1% de la población económicamente activa estaba desocupada. (31)

Los datos obtenidos fueron, para cada persona:

Y = ingresos provenientes del trabajo personal

E = Edad

S = años de escolaridad efectiva. (32)

La escolaridad efectiva se tomó de la siguiente forma: se consideró sin escolaridad la persona que no alcanza a tener aprobado el primer curso (grado) de la enseñanza primaria. Por otra parte, a quien tiene el primer curso aprobado y no el segundo curso, se lo consideró con un año de escolaridad, y así sucesivamente.

Antes de relacionar las tres variables anteriores, hubo que transformar los ingresos mensuales (Y) en el precio anual de demanda del factor trabajo (Z). Para ello realizamos los ajustes indicados en la sección II.C.2, teniendo en cuenta la legislación vigente a la fecha de la encuesta para los empleados de comercio.

Los descuentos efectuados a un empleado eran, en función del sueldo básico mensual (A):

- Aportes jubilatorios	0,11 A
- Ley 19.032	0,01 A
- Obra social	0,03 A
- Ayuda asistencial	<u>0,01 A</u>
Total	0,16 A

El empleador pagaba mensualmente, los siguientes adicionales, en función del sueldo básico:

- Obra social	0,045 A
- Salario familiar	<u>0,12 A</u>
Total	0,165 A

(31) D.E.C., Anuario Estadístico 1979-1980 (Mendoza, 1981), pág. 34.

(32) Este dato surgió de la combinación de dos preguntas de la encuesta: una referente al tipo de estudios cursados (el ciclo más alto) y otra al último grado o año aprobado en ese estudio.



Es decir que el empleador pagaba mensualmente 1,165 A y anualmente esa cantidad por 13 (12 meses más sueldo anual complementario), más las vacaciones (calculadas como un 6% de la cifra anterior, que es equivalente al costo de 20 días anuales). El resultado es que el precio anual de demanda (Z) era 16,0537 A. O sea:

$$Z = \beta A = 16,0537 A$$

Por otra parte, lo que cobra el empleado mensualmente (Y) es el sueldo básico (A) menos los descuentos (0,16 A) más el salario familiar (en promedio, 0,12 A):

$$Y = \alpha A = (1 - 0,16 + 0,12) A = 0,96 A$$

Para llegar a Z a partir de Y, reemplazamos A por su equivalente en función de Y:

$$Z = 16,0537 A = \frac{16,0537}{0,96} Y = 16,722604 Y.$$

El valor utilizado como variable independiente para relacionarlo con la edad y la escolaridad de las personas fue Y, por lo cual las estimaciones tuvieron que ser luego multiplicadas por 16,722604.

Realizamos diversas estimaciones, utilizando siempre la función exponencial, que es la que mejores resultados ha dado en este tipo de estudios.

Los resultados aparecen en el cuadro N° III.1, en el cual vemos que todos los coeficientes estimados son significativamente distintos de cero. Los coeficientes de determinación son relativamente bajos, pero están dentro de los valores obtenidos en estimaciones efectuadas en otros países. (33)

(33) Véanse, por ejemplo, los siguientes trabajos: PSACHAROPOULOS, George, Family background, education and achievement: a path model of earnings determinants in the UK and some alternatives (Centre of Labour Economics, London School of Economics, Discussion Paper N° 3, Nov. 1976); JENCKS, C., Inequality (N.York, Basic Books, 1972), citado por PSACHAROPOULOS, G., op. cit.; CARNOY, Martin, op. cit., etc.

Cuadro N° III. 1

Estimaciones de ingresos en función de escolaridad y edad (1)

Ecuación N°	Expresión analítica	Ciclos de educación que comprende	Número de observaciones	Coeficientes de las variables (4)						R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (5)
				b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>		
1	$y = b_0 + b_1 E + b_4 E$	Todos	1.416 (2)	5,58356 (0,07125) [78,36044]	0,07870 (0,00453) [17,38405]			0,01114 (0,00137) [8,16024]		0,201	0,199
2	$y = b_0 + b_1 E + b_4 E + b_5 E^2$	Todos	1.416 (2)	4,24234 (0,13051) [32,50502]	0,06329 (0,00415) [15,23671]			0,09517 (0,00705) [13,49313]	-0,00106 (0,00009) [-11,90724]	0,276	0,275
3	$y = b_0 + b_1 S + b_4 E + b_5 E^2$	Primaria	772 (2)	4,20354 (0,17902) [23,48023]	0,06524 (0,01130) [5,77580]			0,09628 (0,00892) [10,79662]	-0,00108 (0,00011) [-9,75862]	0,171	0,160
4	$y = b_0 + b_1 S + b_4 E + b_5 E^2$	todos	1.488 (3)	3,98646 (0,13295) [29,98390]	0,07801 (0,00431) [18,11540]			0,10119 (0,00706) [14,3418]	-0,00108 (0,00009) [-12,3552]	0,301	0,299
5	$y = b_0 + b_1 S + b_4 E + b_5 E^2$	Primaria y Secundaria	1.308 (3)	4,07548 (0,13750) [29,6405]	0,07580 (0,00584) [12,9794]			0,09766 (0,00711) [13,7364]	-0,00105 (0,00009) [-11,8471]	0,243	0,241
6	$y = b_0 + b_1 S_1 + b_2 S_2 + b_3 S_3 + b_4 E + b_5 E^2$	Todos	1.488 (3)	3,99229 (0,14606) [27,3333]	0,07805 (0,01074) [7,2699]	0,07314 (0,00970) [7,5428]	0,08776 (0,01406) [6,2433]	0,10115 (0,00707) [14,3112]	-0,00108 (0,00009) [-12,3506]	0,301	0,298
7	$y = b_0 + b_1 S_1 + b_2 S_2 + b_3 S_3 + b_4 E$	Todos	1.488 (3)	5,42240 (0,09346) [58,0158]	0,08444 (0,01126) [7,4999]	0,08424 (0,01014) [8,3106]	0,09610 (0,01474) [6,5201]	0,01537 (0,00138) [11,1716]		0,229	0,227
8	$y = b_0 + b_1 S_1 + b_2 S_2 + b_3 S_3 + b_4 \ln E$	Todos	1.488 (3)	3,69781 (0,19430) [19,0319]	0,08755 (0,01103) [7,9390]	0,08153 (0,00995) [8,1916]	0,09347 (0,01449) [6,4520]	0,64377 (0,04769) [13,4984]		0,255	0,253
9	$y = b_0 + b_1 S_1 + b_2 S_2 + b_3 S_3 + b_4 \frac{1000}{E}$	Todos	1.488 (3)	6,66927 (0,07059) [94,4835]	0,08707 (0,01082) [8,0457]	0,07676 (0,00981) [7,8219]	0,09091 (0,01429) [6,3627]	-0,02177 (0,00144) [-15,1641]		0,276	0,274

Notas: (1) Las estimaciones fueron efectuadas utilizando los valores de y, en miles de pesos ley 18.188. Para obtener los Z en pesos ley hay que multiplicar por 16.722,604, o bien sumarle 9,7245166 al término constante. En las estimaciones finales se usan pesos argentinos.

(2) Se toman únicamente los ingresos por trabajos en relación de dependencia.

(3) Se toman ingresos por trabajo en relación de dependencia y utilidades y beneficios.

(4) Los valores entre paréntesis son los errores estándar de los coeficientes estimados, y los valores entre corchetes son los del estadístico t.

(5) Coeficiente de determinación corregido por los grados de libertad.

Salvo en las ecuaciones 3 y 5, las otras incluyeron todos los niveles educativos. Con respecto a la variable S (educación), en las ecuaciones 1, 2 y 4 ella varía de 0 a 20, o sea que se toma como si cada año de escolaridad tuviera la misma influencia en los ingresos, sea cual fuere el nivel educativo. Simplemente se sumaron los años de escolaridad de cada persona en todos los ciclos por donde pasó. En cambio, en las ecuaciones 6 a 9 se separaron los años de escolaridad según el ciclo al cual correspondían: primaria ( $S_1$ ), secundaria ( $S_2$ ) y universitaria ( $S_3$ ). Así, una persona que ha llegado a tercer año de la escuela secundaria, tiene 7 años de primaria, 3 de secundaria y 0 de universitaria.

En todos los casos, los coeficientes correspondientes a la educación primaria son mayores que los de la secundaria y menores que los de la universitaria, lo cual parece bastante razonable.

Por otra parte la variable E (edad) se incluyó en diversas formas. En las ecuaciones 1 y 7 aparece simplemente E, lo cual supone que el ingreso crece con la edad a un ritmo creciente. Esto no es aceptable teóricamente porque a partir de cierta edad las personas suelen trabajar menos horas y sus conocimientos y/o capacidad física no son tan adecuados. Una forma de solucionar este problema fue incluyendo, además de E, la variable  $E^2$ , con lo que el perfil de ingresos es creciente a ritmo decreciente en una primera etapa y luego pasa a ser decreciente. Esta forma, si bien es más aceptable, tiene el inconveniente de la multicolinealidad entre E y  $E^2$ . Se optó finalmente por incluir la edad como  $\ln E$  y  $1/E$  en las ecuaciones 8 y 9 respectivamente. En estos casos, el ingreso aumenta siempre con la edad a ritmo decreciente, lo cual también es aceptable y no tiene el problema de la multicolinealidad.

En conclusión, estas últimas ecuaciones parecen las más adecuadas. Sin embargo, en el anexo A se presentan los precios de demanda (Z) para cada edad y cada año de escolaridad primaria, calculados utilizando las 9 ecuaciones. Con fines ilustrativos, en los gráficos N°III.1 y 2 se presentan los perfiles correspondientes a las ecuaciones 3 y 9, respectivamente.

Como nos lo hiciera notar nuestro colega Eusebio Cleto del Rey, existe un sesgo en nuestras estimaciones de Y debido al uso de la función exponencial (34). Hemos efectuado los cálculos pertinentes para corregir

(34) Véase DEL REY, Eusebio Cleto, Problemas de cómputo de la corrección por sesgo en el caso lognormal, en "Económica", Año XXIX, N°1 (La Plata, 1983) y la bibliografía citada en ese artículo.

Gráfico N° III.1

Perfiles de precios de demanda de mano de obra para distintos niveles de escolaridad S

Ecuación N° 3:  $y = e^{4,203+0,065 S+0,0963 E-0,001 E^2}$   
 $Z = 16,722604 y$

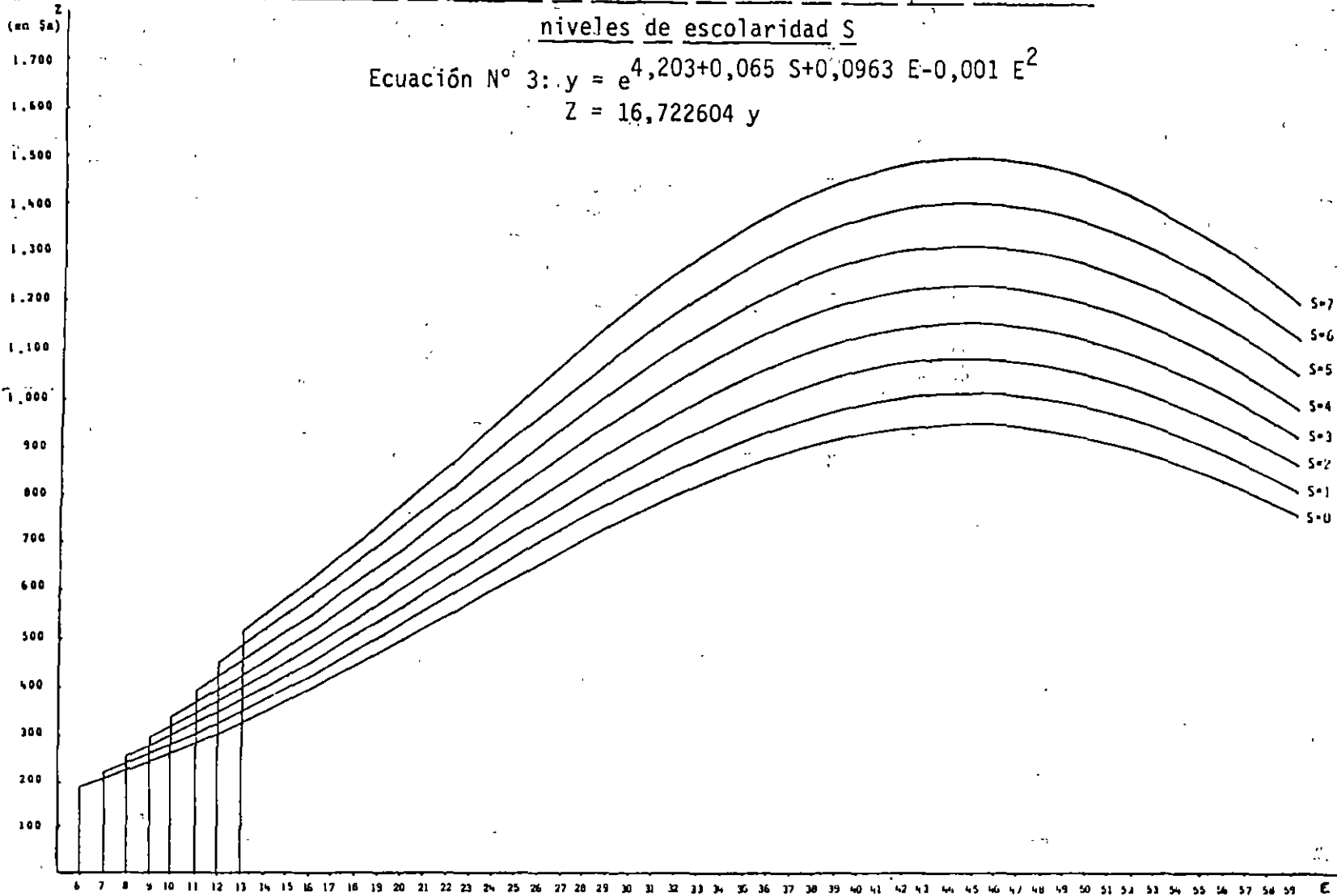
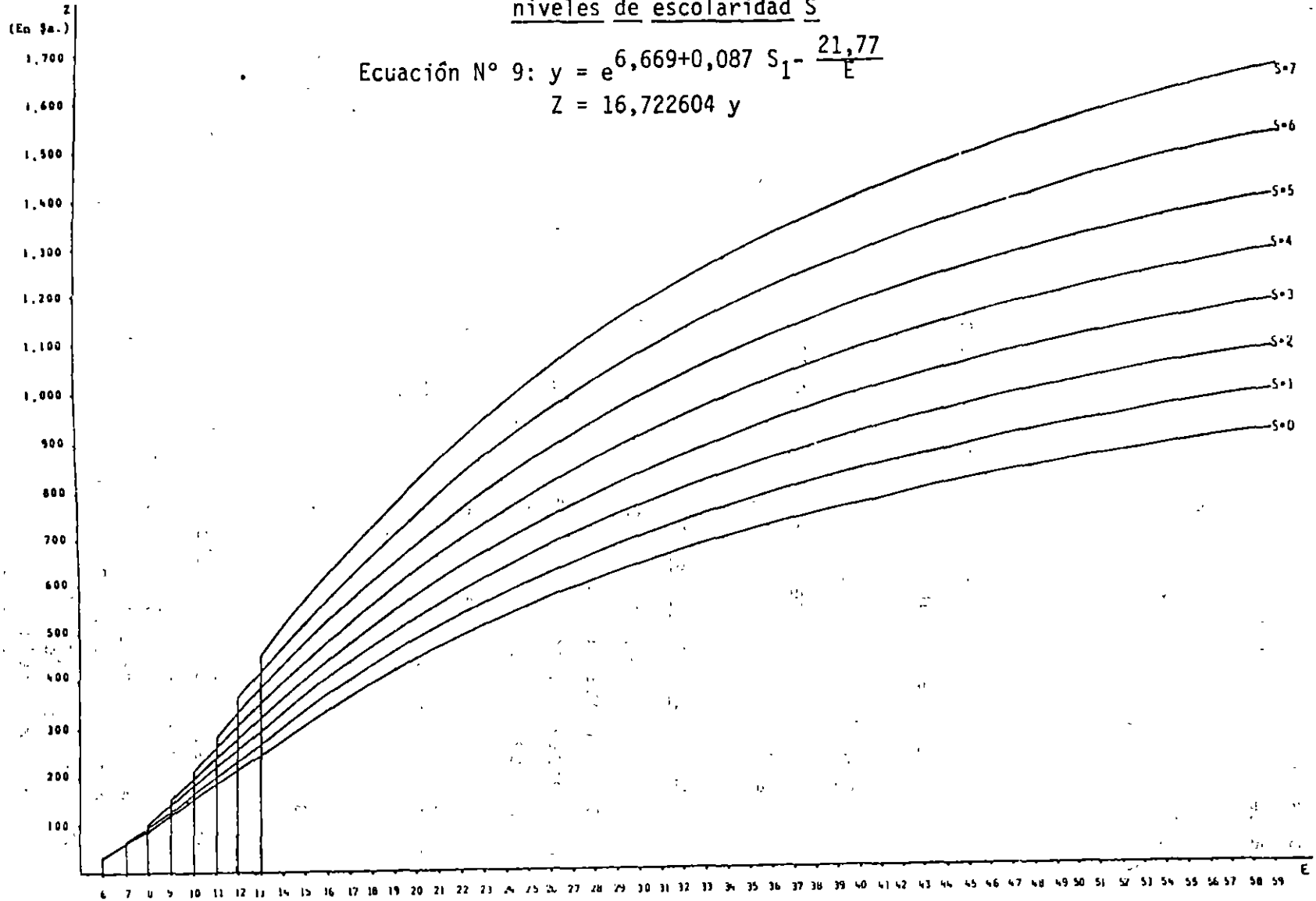


Gráfico N° III.2

Perfiles de precio de demanda de mano de obra para distintos niveles de escolaridad S



los ingresos estimados con las ecuaciones 6, 8 y 9, resultando que los valores estimados deben aumentarse en 24%, 26% y 25%, respectivamente para cada una de esas ecuaciones. (35)

A partir de esos perfiles obtuvimos el valor esperado de las productividades del individuo para cada edad y escolaridad, multiplicando cada  $Z$  por la probabilidad de estar con vida a cada edad, partiendo de que el individuo está con vida a los 6 años:

$$W_S^E = Z_S^E \cdot V^E$$

Las tablas de mortalidad y las correspondientes probabilidades de vida aparecen en el anexo B.

## B. Estimación de los costos anuales por alumno

Consideraremos en esta sección sólo dos grupos de costos: a) Insumos que provee la escuela; b) Insumos proveídos por los alumnos.

### 1. Insumos que provee la escuela

Para estimar el costo anual por alumno por este concepto ( $C_A'$ ) tomamos solamente las escuelas oficiales de jurisdicción provincial, ya que en la enseñanza primaria ellas atienden aproximadamente a un 90% de los alumnos de la provincia de Mendoza.

Las fuentes de datos fueron básicamente dos: los presupuestos ejecutados de la Dirección General de Escuelas y datos referentes a las escuelas existentes: metros cuadrados de terreno y de construcción. (36)

En el caso de los presupuestos ejecutados fue posible conseguir los de tres años: 1979, 1980 y 1981, razón por la cual trabajamos con un pro

(35) Agradecemos la colaboración de Luis Fornero en el cómputo de la corrección del sesgo.

En cada ecuación, el factor de corrección del sesgo no es exactamente el mismo para cada valor estimado de  $y$ , pero el error cometido al tomarlo como constante es insignificante.

(36) Habría que considerar también los presupuestos de otras reparticiones, como por ejemplo la Administración Central, que en parte incluyen erogaciones relativas a educación. No los hemos considerado porque es difícil determinar qué proporción está afectada a fines educativos y, además, estimamos que esas erogaciones representan un porcentaje muy pequeño del costo anual por alumno.

igual a:

los matriculados al final del año  $t$  en el curso  $i$

menos los repitientes del curso  $i$  en el año  $t+1$

menos los que se promueven al curso siguiente (que a su vez son los matriculados totales en el curso  $i+1$  en el año  $t+1$  menos los repitientes de  $i+1$  en el mismo año).

Para el caso especial del último curso del ciclo primario, los desertores serán los matriculados en el curso 7 menos los repitientes de 7 en el año  $t+1$  menos los egresados.

La tasa de deserción será el número de desertores dividido por la matrícula del curso  $i$  al final del año  $t$ .

Cómo tasa de deserción para cada curso se tomó también un promedio para el mismo período mencionado anteriormente. Los resultados se presentan en el cuadro N° I.10.

### 3. Probabilidades de alcanzar cada nivel de escolaridad

A partir de las tasas de deserción obtuvimos las probabilidades  $P_S$ , de alcanzar cada nivel de escolaridad  $S$  y luego desertar. Usamos para ello las fórmulas desarrolladas en la sección II.C.4. Los resultados son los del cuadro N°III.4.  $S$  se refiere aquí al nivel dentro de la escolaridad primaria, que en las ecuaciones 6 a 9 aparece como  $S_1$ .

Cuadro N°III.4

#### Probabilidades de alcanzar el nivel de escolaridad $S$

$S$	$P_S$
1	0,0443
2	0,0211
3	0,0254
4	0,0365
5	0,0469
6	0,0467
7	<u>0,7791</u>
Total	1,0000

D. Valores actuales de beneficios y costos por alumno;  
tasas internas de retorno

En el cuadro N° III.5 presentamos los resultados de los valores actuales esperados de los beneficios para diversas tasas de interés, y dos tasas de crecimiento de los ingresos a través del tiempo, correspondientes a las ecuaciones 6, 8 y 9 del cuadro N° III.1.

Cuadro N° III.5

Valores actuales esperados de los beneficios

$$\sum_{s=1}^7 P_s^a \cdot VAB_s$$

En pesos argentinos

$\lambda$	r	Ecuación N°		
		6	8	9
0	0,08	3.142	3.539	3.386
0	0,09	2.579	2.966	2.751
0	0,10	2.141	2.488	2.321
0	0,11	1.795	2.109	1.952
0	0,12	1.520	1.804	1.656
0	0,13	1.297	1.556	1.417
0	0,14	1.116	1.350	1.221
0	0,15	965	1.181	1.046
0	0,16	820	1.039	923
0	0,17	739	918	810
0	0,18	651	816	715
0	0,19	576	728	633
0	0,20	513	652	563
0	0,21	457	576	503
0	0,22	410	527	451
0,02	0,08	4.977	5.551	5.327
0,02	0,09	3.992	4.493	4.287
0,02	0,10	3.245	3.686	3.495
0,02	0,11	2.668	3.063	2.882
0,02	0,12	2.218	2.574	2.405
0,02	0,13	1.863	2.183	2.025
0,02	0,14	1.579	1.869	1.721
0,02	0,15	1.349	1.614	1.473
0,02	0,16	1.162	1.403	1.269
0,02	0,17	1.007	1.223	1.102
0,02	0,18	879	1.081	963
0,02	0,19	771	956	846
0,02	0,20	680	850	747
0,02	0,21	602	758	662
0,02	0,22	536	680	590

$\lambda$  = tasa anual de crecimiento de los sueldos

r = tasa anual de descuento



En el cuadro N° III.6 hacemos lo mismo con el costo del tiempo de los alumnos. A este fin hemos considerado que el ciclo lectivo dura 9 meses. (39)

Cuadro N° III. 6

Valores actuales esperados del costo del tiempo de los alumnos

$$\sum_{S=1}^7 P_S \cdot VAC_S^0$$

En pesos argentinos

$\lambda$	r	Ecuación N°		
		6	8	9
0	0,08	1.031	1.390	579
0	0,09	1.001	1.351	558
0	0,10	973	1.314	539
0	0,11	947	1.278	520
0	0,12	922	1.245	502
0	0,13	898	1.213	485
0	0,14	876	1.183	469
0	0,15	853	1.153	454
0	0,16	833	1.127	440
0	0,17	814	1.100	427
0	0,18	795	1.075	414
0	0,19	777	1.051	401
0	0,20	759	1.028	389
0	0,21	743	1.006	377
0	0,22	727	985	367
0,02	0,08	1.098	1.479	627
0,02	0,09	1.066	1.436	605
0,02	0,10	1.036	1.391	582
0,02	0,11	1.007	1.329	561
0,02	0,12	979	1.321	545
0,02	0,13	953	1.286	525
0,02	0,14	928	1.253	506
0,02	0,15	904	1.221	489
0,02	0,16	882	1.191	474
0,02	0,17	860	1.163	459
0,02	0,18	840	1.135	445
0,02	0,19	820	1.109	431
0,02	0,20	801	1.084	418
0,02	0,21	783	1.059	404
0,02	0,22	766	1.036	393

$\lambda$  = tasa anual de crecimiento de los sueldos

r = tasa anual de descuento

(39) A este respecto, agradecemos la observación que nos hiciera Carlos Pucci, en su comentario a nuestro trabajo en la XIXª Reunión de la Asociación Argentina de Economía Política.

En el cuadro N° III. 7 aparecen los costos a cargo de la escuela y de los alumnos para cada tasa de interés y de crecimiento de los costos de personal.

Cuadro N° III.7

Valores actuales esperados de los costos a cargo de la escuela y de los alumnos

En pesos argentinos

$\lambda$	$r$	$\sum_{s=1}^7 P_s \cdot VAC'_s$ (escuela)	$\sum_{s=1}^7 P_s \cdot VAC''_s$ (alumnos)	$\sum_{s=1}^7 P_s (VAC'_s + VAC''_s)$
0	0,08	993	289	1.282
0	0,09	995	281	1.276
0	0,10	997	274	1.271
0	0,11	1.000	266	1.266
0	0,12	1.002	260	1.262
0	0,13	1.005	253	1.258
0	0,14	1.007	247	1.254
0	0,15	1.013	241	1.254
0	0,16	1.013	236	1.249
0	0,17	1.015	230	1.245
0	0,18	1.018	225	1.243
0	0,19	1.020	220	1.240
0	0,20	1.022	216	1.238
0	0,21	1.025	211	1.236
0	0,22	1.027	207	1.234
0,02	0,08	1.034	289	1.323
0,02	0,09	1.035	281	1.316
0,02	0,10	1.036	274	1.310
0,02	0,11	1.037	266	1.303
0,02	0,12	1.038	260	1.298
0,02	0,13	1.039	253	1.292
0,02	0,14	1.040	247	1.286
0,02	0,15	1.041	241	1.282
0,02	0,16	1.043	236	1.279
0,02	0,17	1.045	230	1.275
0,02	0,18	1.046	225	1.271
0,02	0,19	1.048	220	1.268
0,02	0,20	1.049	216	1.265
0,02	0,21	1.051	211	1.262
0,02	0,22	1.052	207	1.259

$\lambda$  = tasa anual de crecimiento de los sueldos

$r$  = tasa anual de descuento

De la comparación de los cuadros anteriores surgen las tasas internas de retorno sociales correspondientes a cada ecuación de ingresos con

siderada y a cada tasa de crecimiento (cuadro N° III.8).

Las tasas internas de retorno desde el punto de vista social, cuando se supone que la tasa de crecimiento es del 2%, son más altas que cuando se supone que los ingresos no aumentan. La diferencia es de algo más de dos puntos porcentuales. Para la tasa de crecimiento nula, las TIR varían entre 9,8 y 11,6% y para la tasa de crecimiento del 2%, entre 11,9 y 13,8%, aproximadamente. Esto indicaría que la rentabilidad de la educación primaria en Mendoza estaría en alrededor del 12%, la cual es una tasa razonable, especialmente si se tiene en cuenta que hay beneficios no medidos.

Cuadro N° III.8

Tasas internas de retorno sociales (1)

Ecuación N°	$\lambda=0$	$\lambda=0,02$
6	9,75	11,86
8	9,78	11,91
9	11,61	13,75

(1): Para obtener las TIR con decimales se efectuaron interpolaciones lineales.

FUENTE: Cuadros N° III.5, 6 y 7.

También estimamos las tasas internas de retorno desde el punto de vista privado del alumno. A tal efecto, excluimos los costos a cargo de la escuela. En cuanto a los beneficios y al costo del tiempo de los alumnos calculamos tres variantes. Recordemos que lo incluido como beneficio social es la diferencial de los valores del producto marginal del trabajo, medida ésta a partir de lo que cobra el trabajador, a lo cual se agregan los descuentos que se le practicaron y los aportes del empleador. Tanto los descuentos como los aportes adicionales representan en principio, beneficios para el empleado, ya sea en forma de dinero presente (como el aguinaldo), de bienes y servicios presentes o futuros (obras sociales) o dinero futuro (jubilación). Puede objetarse que los aportes no coinciden con los beneficios que recibe el empleado. Coincidimos con del Rey (40) en que los apor-

(40) DEL REY, Eusebio Cleto, Comentario a nuestro trabajo en la XIXa. Reunión de la Asociación Argentina de Economía Política (Iguazú, 1984).

tes jubilatorios en nuestro país tienen en gran medida el carácter de un impuesto. Probablemente en el caso de los aportes a obras sociales se trate más bien del pago por ciertos servicios cuando se toma un empleado promedio, aunque seguramente son en parte un impuesto para quienes tienen sueldos superiores al promedio y un subsidio para quienes tienen sueldos inferiores al promedio. Ante la imposibilidad de llegar a determinar el porcentaje del aporte que constituye un verdadero beneficio desde el punto de vista privado, hacemos tres hipótesis para estimar la rentabilidad privada, a saber:

a) Que los aportes jubilatorios se valoren en 100%, en cuyo caso las estimaciones hechas para los beneficios y para el costo del tiempo en el caso de la tasa social son válidos para la tasa desde el punto de vista privado.

b) Que los aportes jubilatorios no se valoren en nada (pero sí se valore la obra social y ayuda asistencial). En este caso, el empleado valora lo que él cobra efectivamente más los aportes suyos y los del empleador, para obra social y ayuda asistencial que suman un 8,5% del sueldo básico, o sea:

Mensualmente cobra:

$$Y = \alpha A = 0,96 A$$

Si añadimos la valoración de los aportes mencionados:

$$U_m = 0,96 A + 0,085 A = 1,045 A$$

Anualmente recibe el valor de 13 meses más las vacaciones:

$$U_a = (13 \times 1,06) U_m = 14,4001 A$$

Reemplazando A en términos de Y:

$$U_a = 15,00010 Y.$$

Por otra parte, el precio anual de demanda, ya estimado, es

$Z = 16,722604 Y$ ; entonces a las estimaciones de los beneficios y del costo del tiempo de los estudiantes hay que multiplicarlas por 0,896995 (o sea,  $15,001 \div 16,722604$ ).

c) Que los aportes jubilatorios se valoren solo en 50%, en cuyo caso se agrega a lo que cobra el empleado los aportes para obra social y ayuda asistencial y el 50% de los aportes jubilatorios del 12%. Siguiendo el mismo razonamiento que en b):

$$Y = 0,96 A$$

$$U_m = 0,96 A + (0,085 A) + 0,5 \times 0,12 A = 1,105 A$$

$$U_a = (13 \times 1,06) U_m = 15,2269 A$$

$$U_a = 15,86135 Y.$$

Esta alternativa resulta ser un promedio de las dos anteriores y hay que multiplicar las estimaciones de los beneficios y de los costos de los alumnos por 0,9484976 (o sea  $15,86135 \times 0,9484976 = 16,722604$ ).

Las tasas internas de retorno desde el punto de vista privado surgen entonces de comparar los valores actuales esperados de los beneficios (cuadro N° III.5, modificado según la hipótesis considerada) con los valores actuales esperados de los costos del tiempo de los alumnos (cuadro N° III.6, también modificado según la hipótesis) más los otros costos a cargo de los alumnos (cuadro N° III.7).

Los resultados aparecen en el cuadro N° III.9. Las tasas privadas son, como era de esperar, sustancialmente más altas que las sociales, debido a que los costos a cargo de la escuela no son tenidos en cuenta. En el caso de la ecuación 6, las tasas privadas son de 4 a 5 puntos más altas que las sociales; en el de la ecuación 8, de 3 a 4 puntos; y en el de la ecuación 9, de 7 a 8 puntos, según las alternativas consideradas. La explicación de esta diferencia está en la forma de la ecuación 9: los ingresos para edades bajas son notablemente menores que en las otras estimaciones y por lo tanto el costo del tiempo de los alumnos resulta también bajo.

Esto se puede ver claramente en el cuadro N° III.10, donde se presenta la distribución porcentual de los costos sociales, suponiendo tasas de interés coincidentes con las respectivas TIR. Así, usando la ecuación 8, los costos a cargo de la escuela representan un porcentaje cercano al 40% de los costos totales, mientras que usando la ecuación 9, el porcentaje llega a ser cercano al 60%. Dado que esos son los costos que no se incluyen al estimar las tasas internas de retorno privadas, éstas son notablemente altas en el caso de la ecuación 9.

Por otra parte, una conclusión interesante es que las tasas de retorno privadas son muy poco sensibles a las variaciones en el porcentaje de valoración de los aportes jubilatorios: la máxima diferencia entre las hipótesis extremas (a y b) resulta de 0,55 puntos porcentuales en el caso de la ecuación 9.

Cuadro N° III.9  
Tasas internas de retorno privadas

Ecuación N°	Hipótesis a (100%)		Hipótesis b (0%)		Hipótesis c (50%)	
	$\lambda=0$	$\lambda=0,02$	$\lambda=0$	$\lambda=0,02$	$\lambda=0$	$\lambda=0,02$
6	13,95	16,35	13,77	16,13	13,87	16,24
8	13,53	15,89	13,36	15,71	13,45	15,79
9	19,22	21,82	18,67	21,40	19,00	21,59

FUENTE: Cuadros N° III.5, 6 y 7.

Cuadro N° III.10

Composición porcentual de los costos sociales para tasas de interés iguales a la TIR social

Concepto	Usando ecuación N° 8				Usando ecuación N° 9			
	$\lambda=0$ ; TIR = 0,10		$\lambda=0,02$ ; TIR = 0,12		$\lambda=0$ ; TIR = 0,12		$\lambda=0,02$ ; TIR = 0,14	
Tiempo de los alumnos		50,8		50,4		28,5		28,2
Otros insumos que proveen los alumnos		10,6		9,9		14,7		13,8
Insumos que provee la escuela		38,6		39,7		56,8		58,0
Personal	69,4		67,4		65,8		64,2	
Otros ítems del presupuesto	2,7		2,4		2,6		2,3	
Edificios y terrenos	27,9		30,2		31,6		33,5	
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0