

ANALISIS DE INVERSIONES
1978

FECHAS	HORARIO	TEMA	PROFESOR
4 de abril	18 a 21 h	INTRODUCCION. LA INGENIERIA DE SISTEMAS Y EL ANALISIS DE INVERSIONES	M. en I. Sergio Zúñiga Barrera
6 y 11 de abril	18 a 21 h	EVALUACION DE PROYECTOS FUNDAMENTOS DE LA EVALUACION DE PROYEC TOS	M. en I. Pedro Pablo Puig
13 de abril	18 a 21 h	MODELOS DETERMINISTAS ESTATICOS	Act. Carlos Ayala e Izaguirre
18 de abril	18 a 21 h	MODELOS DETERMINISTAS DINAMICOS	M. en I. Rubén Téllez Sánchez
20 de abril	18 a 21 h	INTRODUCCION A LA PROBABILIDAD	M. en I. Antonio Olivera Salazar
25 de abril	18 a 21 h	MODELOS ALEATORIOS ESTATICOS	Dr. Jesús Acosta Flores
27 de abril	18 a 21 h	MODELOS ALEATORIOS DINAMICOS	Dr. Jesús Acosta Flores
2 de mayo	18 a 21 h	EJEMPLOS DE APLICACION	M. en I. Guillermo Castellanos M. en I. Eduardo Macgregor
4 de mayo	18 a 21 h	EJEMPLOS DE APLICACION	Ing. Humberto Valdez Ruy Sánchez
9 de mayo	18 a 21 h	EJEMPLOS DE APLICACION	M. en I. Francisco Gorostiza Pére M. en I. Fernando Gómez Jardón
11 de mayo	18 a 21 h	EJEMPLOS DE APLICACION	Dr. Pedro Reyes Ortega M. en I. Pedro Pablo Puig

CLAUSURA.

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

CURSO: ANALISIS DE INVERSIONES

FECHAS: DEL 4 DE ABRIL AL 11 DE MAYO DE 1978.

	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANT. DEL INTERES (AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION, COMUNICACION CON LOS ASISTENTES)	PUNTUALIDAD
1.- LA INGENIERIA DE SISTEMAS Y EL ANALISIS DE INVERSIONES (ZUÑIGA)				
2.- EVALUACION DE PROYECTOS. FUNDAMENTOS DE LA EVALUACION DE PROY. (PUIG LLANO)				
3.- MODELOS DETERMINISTAS ESTATICOS (ACT. CARLOS AYALA E IZAGUIRRE)				
4.- MODELOS DETERMINISTAS DINAMICOS (M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ)				
5.- INTRODUCCION A LA PROBABILIDAD (M. EN I. ANTONIO OLIVERA SALAZAR)				
6.- MODELOS ALEATORIOS (DR. JESUS ACOSTA ESTATICOS)				
7.- MODELOS ALEATORIOS DINAMICOS (DR. JESUS ACOSTA FLORES)				
8.- EJEMPLOS DE APLICACION (M. EN I. GUILLERMO CASTELLANOS)				
9.- EJEMPLOS DE APLICACION (M. EN I. EDUARDO MAC GREGOR BELTRAN)				
10.- EJEMPLOS DE APLICACION (ING. HUMBERTO VALDEZ RUY SANCHEZ)				
<p>ESCALA DE EVALUACION DEL 1 AL 10</p> <p>mag. 29.VI.77</p>				

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

CURSO : ANALISIS DE INVERSIONES

FECHAS : DEL 4 DE ABRIL AL 11 DE MAYO DE 1978.

	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANT. DEL INTERES (AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION, COMUNICACION CON LOS ASISTENTES)	PUNTUALIDAD
11.- EJEMPLOS DE APLICACION (M. EN I. FRANCISCO GOROZTIZA PEREZ.)				
12.- EJEMPLOS DE APLICACION (M. EN I. FERNANDO GOMEZ JARDON)				
13.- EJEMPLOS DE APLICACION (DR. PEDRO REYES ORTEGA)				
14.- EJEMPLOS DE APLICACION (M. EN I. PEDRO PABLO PUIG LLANO)				
ESCALA DE EVALUACION DEL 1 AL 10 mag. 29.VI.77				

EVALUACION DEL CURSO

	CONCEPTO	EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON EL CURSO	
4.	CUMPLIMIEN TO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO CON EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10

1. ¿Qué le pareció el ambiente del Centro de Educación Continua?

Muy agradable Agradable Desagradable

2. Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

Periódico Excélsior Periódico Novedades Folleto del Curso

Cartel mensual Radio Universidad Comunicación carta, teléfono, verbal, etc.

3. Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

Automóvil particular Metro Otro medio

4. ¿Qué cambios haría usted en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

5. ¿Recomendaría el curso a otras personas? Si No

6. ¿Qué curso le gustaría que ofreciera el Centro de Educación Continua?

7. ¿Qué servicios desearía que tuviese el CEC para los asistentes a cursos?

8. Otras sugerencias:

DIRECTORIO DE PROFESORES
ANALISIS DE INVERSIONES
1978

DR. JESUS ACOSTA FLORES
ASESOR DEL DIRECTOR GENERAL
DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS
S. A. H. O. P.
XOLA Y AV. UNIVERSIDAD S/N FRENTE A MITLA
MEXICO 12, D.F.
TEL: 590. 30. 85

ACT. CARLOS AYALA E IZAGUIRRE
JEFE DE LA OFICINA DE PROGRAMAS ESPECIALES
DEPARTAMENTO DE MODELOS DE DECISION
DIRECCION DE INGENIERIA DE SISTEMAS
S. A. H. O.P.
AV. UNIVERSIDAD S/N
MEXICO 12, D.F.
TEL: 590.64.82

M. EN I. GUILLERMO CASTELLANOS GUZMAN
SUBDIRECTOR DE FOMENTO AGROPECUARIO Y PESQUERO
DIRECCION DE INVERSIONES DE PROGRAMAS Y PRESUPUESTO
SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO
LORENZO BOTURINI No. 205 - 7^o PISO
MEXICO, D.F.
TEL: 578.46.88 y 588.05.18

M. EN I. FERNANDO GOMEZ JARDON
SUBDIRECTOR GENERAL DE ANALISIS DE CONGRUENCIA INTERSECTORIAL
SUBSECRETARIA DE EVALUACION DE LA
SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO
JOSE VASCONCELOS 221 - 3^o PISO
MEXICO 18, D.F.
TEL: 553.41.02 y 553.37.88

M. EN I. FRANCISCO GOROSTIZA PEREZ
JEFE DE LA UNIDAD DE PROGRAMACION
SUBSECRETARIA DE PLANEACION Y ORGANIZACION
FERROCARRILES NACIONALES DE MEXICO
AV. CENTRAL 140 ALA C piso 13
MEXICO 3, D.F.
TEL: 547.60.67

M. EN I. EDUARDO MAC GREGOR BELTRAN
SUBDIRECTOR GENERAL
DIRECCION GENERAL DE INVERSIONES
SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO
LORENZO BOTURINI No. 205 - 7^a PISO
MEXICO 8, D.F.
TEL: 578.61.81 ó 578.71.30

M. EN I. ANTONIO OLIVERA SALAZAR
GERENTE TECNICO
I. M. P. O. S.
INSURGENTES SUR No. 586 Desp. 402
MEXICO 12, D.F.
TEL: 536.91.19 ó 536.00.85

M. EN I. PEDRO PABLO PUIG LLANO
SUBDIRECTOR DE INFORMACION Y COORDINACION
SECRETARIA DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO
REFORMA No. 46 - 9^a PISO
MEXICO 1, D.F.
TEL: 546.34.68, 546.48.27, 591.09.17 y
546.47.05

DR. PEDRO REYES ORTEGA
SUBDIRECTOR
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION
SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL
VERTIZ No. 96 - 1^a PISO
MEXICO, D.F.
TEL: 588.77.68 y 761.20.32

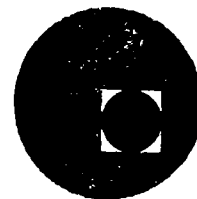
M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ
CONSULTOR
DIRECCION GENERAL DE TELECOMUNICACIONES
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
AV. NIÑO PERDIDO No. 567
MEXICO 12, D.F.
TEL: 538.52.60

ING. HUMBERTO VALDEZ RUY SANCHEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE MODELOS DE DECISION
S. A. H. O. P.
AV. UNIVERSIDAD S/N
MEXICO 12, D.F.
TEL: 590. 31. 96

M. EN I. SERGIO ZUÑIGA BARRERA
DIRECTOR
I. M. P. O. S.
INSURGENTES SUR No. 586 - 402
MEXICO 12, D.F.
TEL: 536.91.19 y 536. 00.81



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



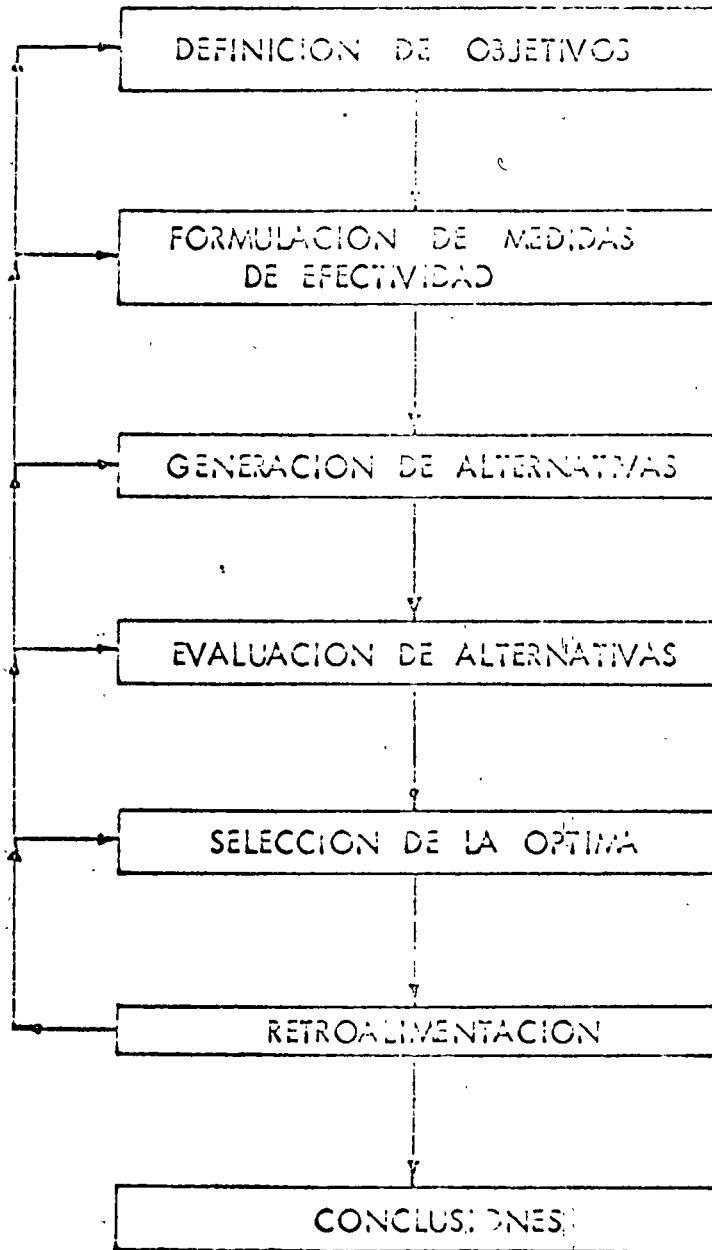
ANALISIS DE INVERSIONES

TEMA: LA INGENIERIA DE SISTEMAS Y EL ANALISIS DE INVERSIONES.

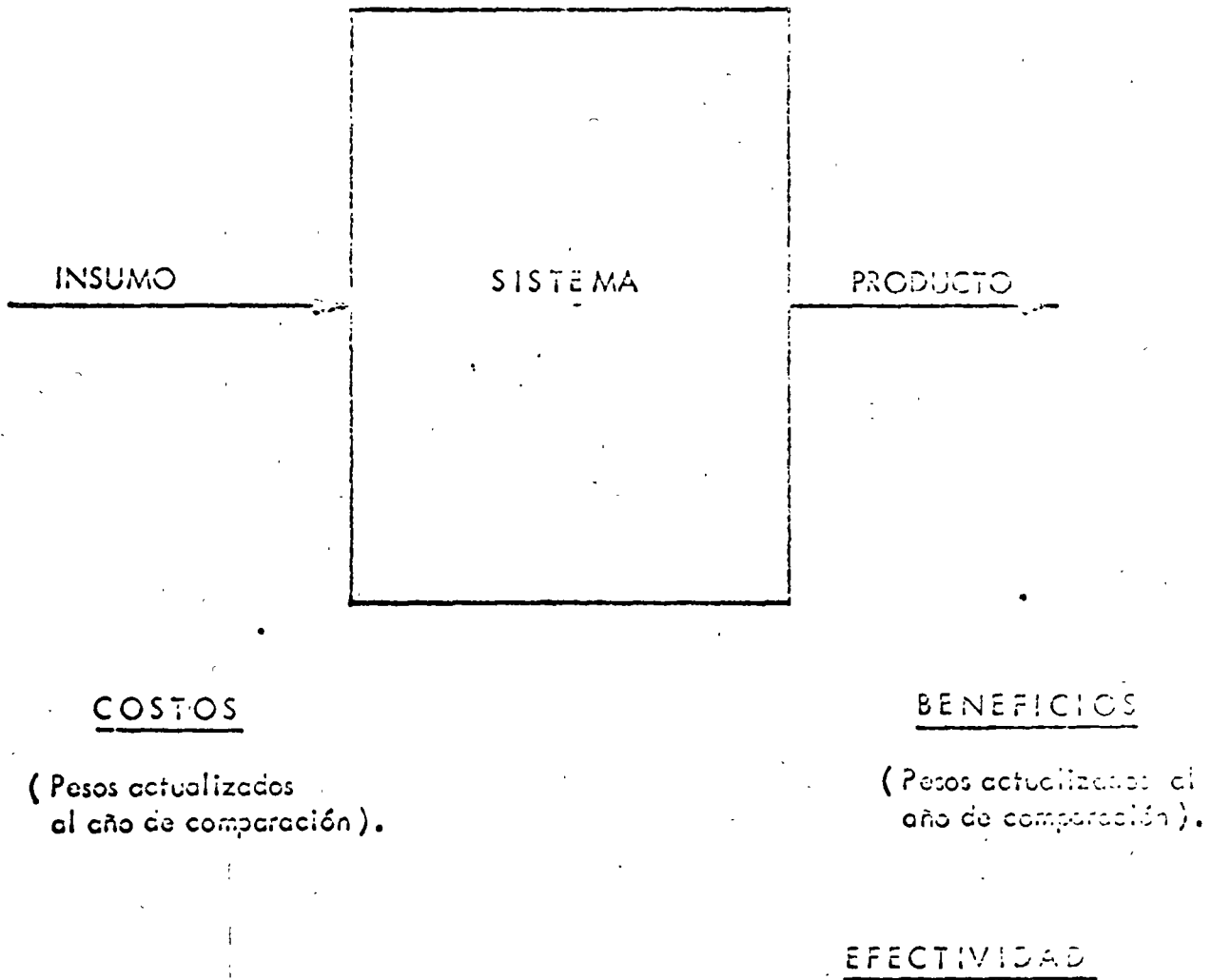
PROF. M. en I. SERGIO ZUÑIGA BARRERA.

Abril, 1978.

FASES EN EL ANALISIS DE SISTEMAS



La evaluación de alternativas se traduce en cuantificar los insumos y productos de un sistema.



Los métodos de evaluación de alternativas excluyentes esencialmente son 2:

- a) Análisis de Beneficio-Costo
- b) Análisis de Efectividad-Costo

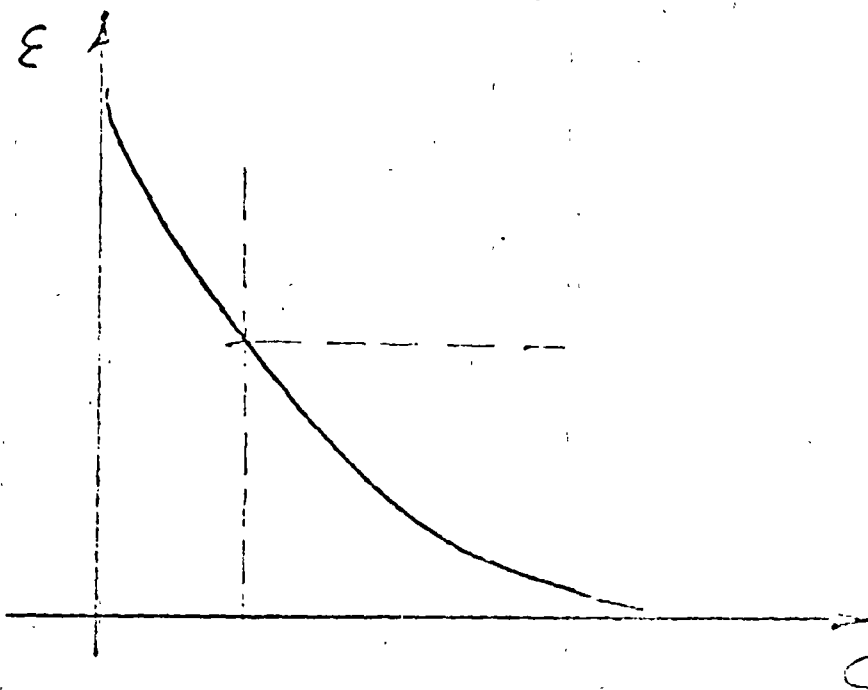
En el primero, tanto los insumos (costos) como los productos (beneficios) pueden ser evaluados por precios de mercado.

En el segundo sólo los insumos pueden ser evaluados por precios de mercado, en tanto que para los productos no existen valores en el mercado y son evaluados mediante su efectividad.

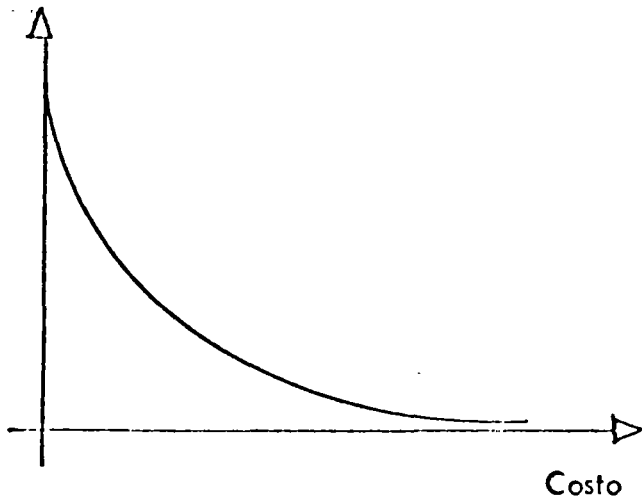
ANALISIS DE EFECTIVIDAD - COSTO

Esencialmente el método de efectividad - costo consiste en identificar el sistema de costo mínimo para un mismo nivel de efectividad.

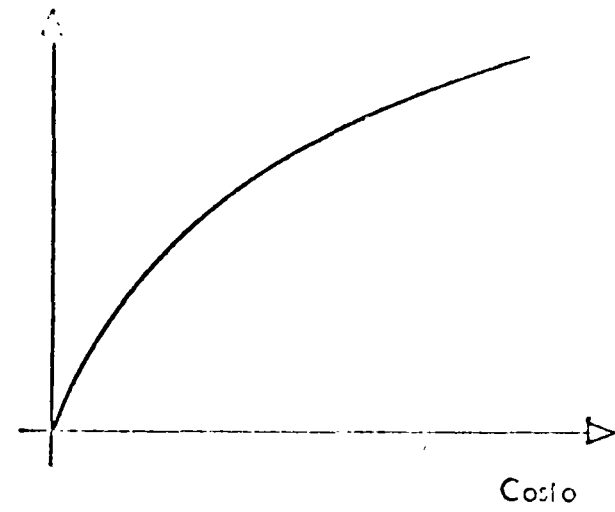
Para cada alternativa se deberá evaluar en valor presente el costo de instalación, mantenimiento y operación a lo largo de su vida útil, por otro lado a cada alternativa se asociará su efectividad y con ambos valores (Efectividad-Costo) se definirá una función que represente el fenómeno y mediante la cual se pueda elegir el proyecto óptimo.



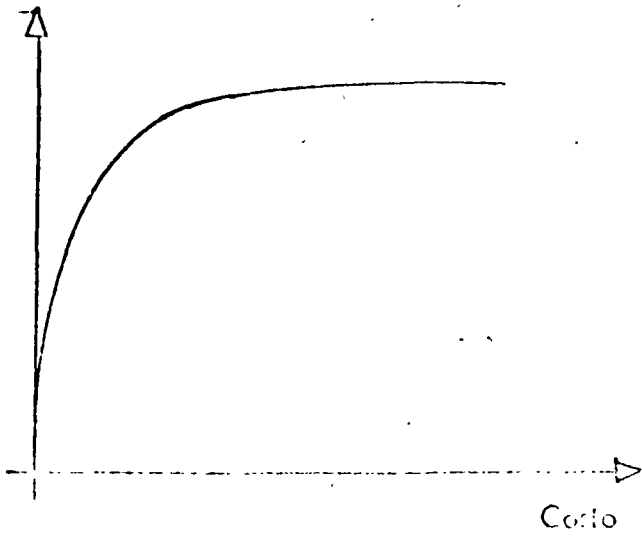
Efectividad



Efectividad



Efectividad

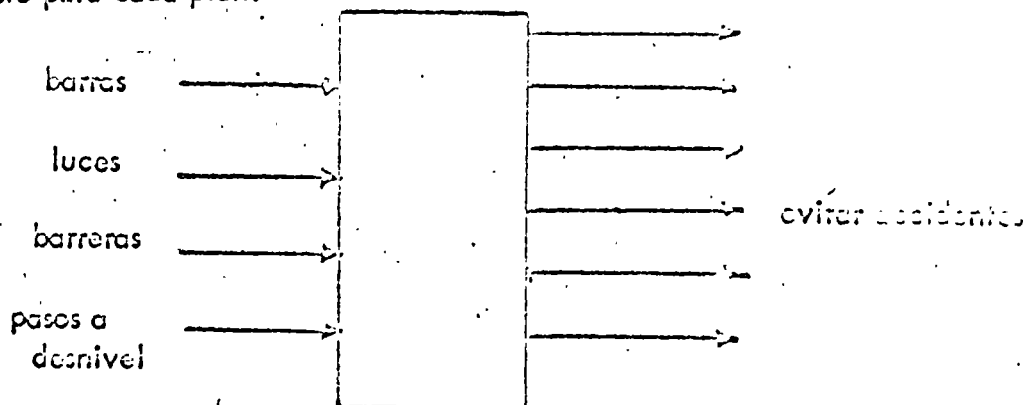


FUNCION EFECTIVIDAD-COSTO

se obtuvo:

Categoría	Barras	Luces	Artes	Desnivel
1	1.12	0.65	-0.10	0
2	0.91	0.72	-0.13	0
3	0.63	0.54	0.22	0
4	2.03	1.45	0.03	0
5	1.82	1.32	0.35	0
6	1.54	1.14	0.71	0

b) Entrando ahora con los datos de la tabla inmediata se prueban 11 diferentes planes de soluciones obteniendo número total de accidentes por año y costo para cada plan.



Plan	Categoría y Alternativa						Costo	NEA (año)
1	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7,770.00	282.1
2	1-1	2-1	3-1	4-3	5-1	6-1	120,931.00	229.5
3	1-3	2-1	3-1	4-3	5-1	6-1	133,560.00	224.9
4	1-3	2-1	3-1	4-3	5-3	6-1	431,579.00	182.9
5	1-3	2-3	3-1	4-3	5-3	6-1	571,790.10	74.0
6	1-3	2-3	3-1	4-3	5-3	6-2	637,755.10	63.3
7	1-3	2-3	3-1	4-3	5-3	6-3	607,036.10	53.6
8	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3	6-3	763,475.10	47.1
9	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3	6-4	2,004,703.50	31.5
10	1-3	2-3	3-3	4-3	5-4	6-4	1,003,302.00	2.5
11	1-3	2-3	3-4	4-3	5-4	6-4	11,492,593.0	

		PLAN 1							PLAN 2					PLAN 3					PLAN 4					PLAN 5				
Line	Code	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	Area	Perim	
1-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1-3	1.2	12,700	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
1-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2-1	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	1,130	24.6	
2-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2-3	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	1,053	0.7	
2-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3-1	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	965	14.5	
3-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3-3	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	
3-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4-1	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	14,500	2.1	
4-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4-3	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	1,053	0.9	
4-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5-1	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	81,053	1.82	
5-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5-3	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	23,053	0.35	
5-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6-1	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	1,130	25.1	
6-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6-3	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	4,103	0.83	
6-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		229.4	131,100																									

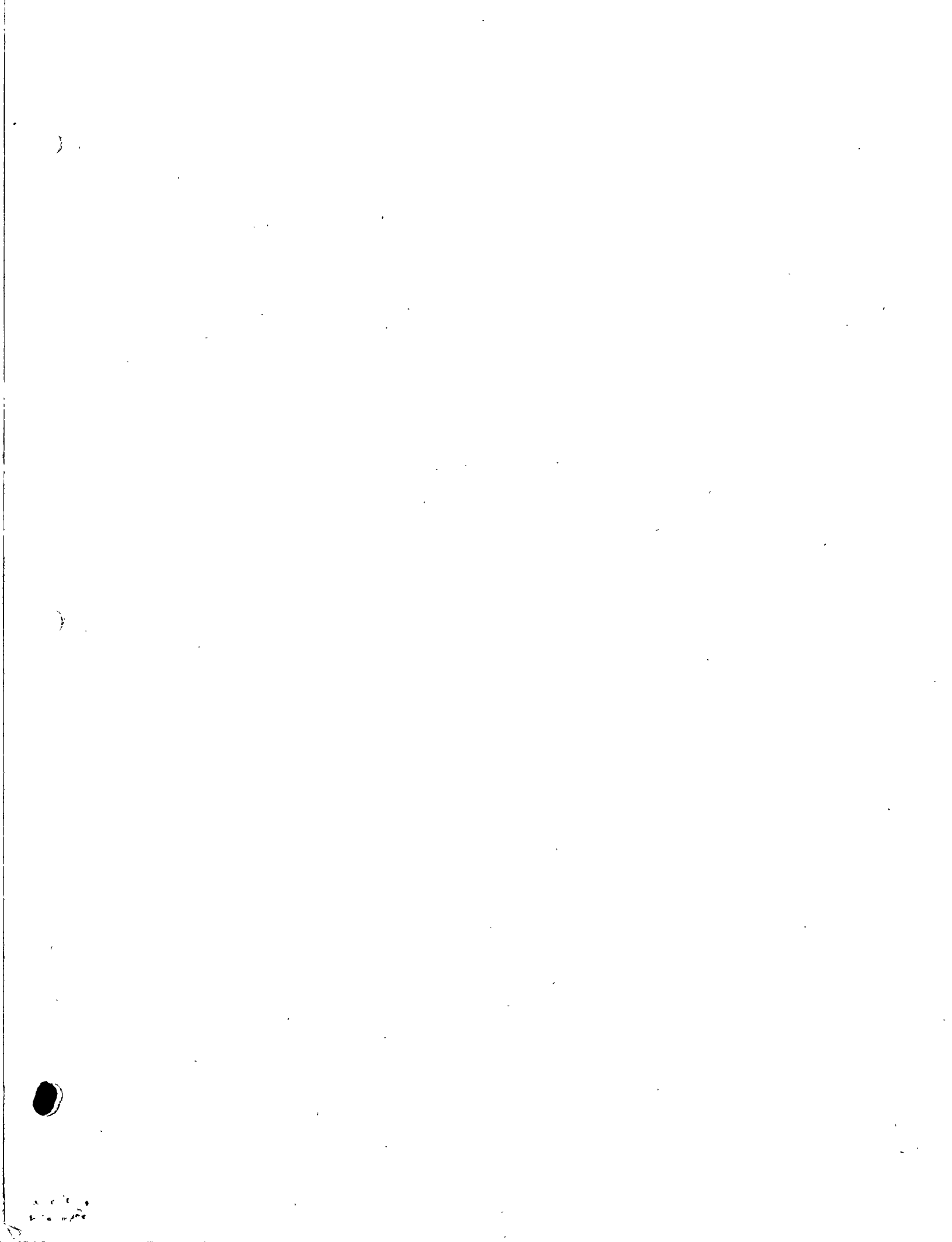
(1-1)
(2-1)
(3-1)
(4-1)
(5-1)
(6-1)

(1-1)
(2-1)
(3-1)
(4-1)
(5-1)
(6-1)

(1-3)
(2-1)
(3-1)
(4-1)
(5-1)
(6-1)

(1-3)
(2-1)
(3-1)
(4-1)
(5-1)
(6-1)

(1-3)
(2-1)
(3-1)
(4-1)
(5-1)
(6-1)



C-A	PLAN 1			PLAN 2				PLAN 3				PLAN 4				PLAN 5									
	NEA(CA)	Costo (C)	NEA (CA)	NEA	Costo	A NEA	A Costo	NEA(CA)	Costo(C)	A NEA	A Costo	NEA(CA)	Costo(C)	A NEA	A Costo		NEA(CA)	Costo(C)	A NEA	A Costo					
1-1	3.36	126	3.36	126	1.12	42	-	-	3.36	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1-2	2.56	5,995			0.85	1,995	0.27	1,953	138			0.27	1,953	188	-1.2	12,700	-	-	-			-	-	-	
1-3	-1.2	12,700			-0.40	4,235	1.32	4,193	364			1.52	1,193	364*			-	-	-	-1.2	12,700	-	-	-	-1.2
1-4	0	263,000			0	87,900	1.12	87,858	12			1.12	87,858	12			-0.40	83,665	-4			-0.40	83,665	-4	
2-1	24.6	1,130	24.6	1,130	0.91	42	-	-	24.6	1,130	-	-	-	24.6	1,130	-	-	-	24.6	1,130	-	-	-	-	-
2-2	19.5	53,800			0.72	1,995	0.19	1,933	98			0.19	1,953	98			0.19	1,953	98			0.19	1,953	98	
2-3	-3.5				-0.13	4,235	1.04	4,193	248			1.04	4,193	248			1.04	4,193	248			1.04	4,193	248	-3.5
2-4	0				0	87,900	0.72	87,858	8			0.72	87,858	8			0.72	87,858	8			0.72	87,858	8	
3-1	14.5	965	14.5	965	0.53	42	-	-	14.5	965	-	-	-	14.5	965	-	-	-	14.5	965	-	-	-	-	14.5
3-2	12.5	45,800			0.54	1,995	0.09	1,953	46			0.09	1,953	46			0.09	1,953	46			0.09	1,953	46	
3-3	5.1	91,500			0.22	4,235	0.41	4,193	98			0.41	4,193	98			0.41	4,193	98			0.41	4,193	98	
3-4	0	202,000			0	87,900	0.63	87,858	7			0.63	87,858	7			0.63	87,858	7			0.63	87,858	7	
4-1	55	1,130	55	1,130	2.03	42	-	-			-	-	-			-	-	-			-	-	-	-	
4-2	39.1	53,800			1.45	1,995	0.58	1,953	297			-	-	-			-	-	-			-	-	-	-
4-3	2.1	114,500			0.08	4,235	1.95	4,193	467*	2.1	114,500	-	-	-	2.1	114,500	-	-	-	2.1	114,500	-	-	-	2.1
4-4	0	238,000			0	87,900	2.03	87,858	23			0.08	83,665	0.9			0.08	83,665	0.9			0.08	83,665	0.9	
5-1	15.1	3,480	15.1	3,480	1.82	42	-	-	15.1	3,480	-	-	-	15.1	3,480	-	-	-			-	-	-	-	-
5-2	10.9	165,000			1.82	1,995	0.50	1,953	256			0.50	1,953	256			0.50	1,953	256			-	-	-	-
5-3	2.9	354,000			0.35	4,235	1.97	4,193	345			1.47	4,193	345			1.47	4,193	345*	2.9	351,000	-	-	-	2.9
5-4	0	730,000			0	87,900	1.82	87,858	21			1.82	87,858	21			1.82	87,858	21			0.35	83,665	4	
6-1	33.8	925	33.8	925	1.54	42	-	-	33.8	925	-	-	-	33.8	925	-	-	-	33.8	925	-	-	-	-	33.8
6-2	25.1	44,000			1.19	1,992	0.40	1,953	205			0.40	1,953	205			0.40	1,953	205			0.40	1,953	205	
6-3	15.5	93,500			0.71	4,235	0.83	4,193	198			0.83	4,193	198			0.83	4,193	198			0.83	4,193	198	
6-4	0	191,000			0	87,900	1.54	87,858	18			1.54	87,858	18			1.54	87,858	18			1.54	87,858	18	
			282.6	7756						229.4	121,126				224.8	133,700				102.8	481,220				74.7

(1-1)
(2-1)
(3-1)
(4-1)
(5-1)
(6-1)

(1-1)
(2-1)
(3-1)
(4-3)
(5-1)
(6-1)

(1-3)
(2-1)
(3-1)
(4-3)
(5-1)
(6-1)

(1-3)
(2-1)
(3-1)
(4-3)
(5-3)
(6-1)

(1-3)
(2-1)
(3-1)
(4-1)
(5-1)
(6-1)

C-A	PLAN 5				PLAN 6				PLAN 7				PLAN 8				PLAN 9							
	NEA(CR)	Costo(CR)	NEA	Costo	NEA(CR)	Costo(CR)	A NEA	A Costo	NEA(CR)	Costo(CR)	A NEA	A Costo	NEA(CR)	Costo(CR)	A NEA	A Costo	NEA(CR)	Costo(CR)	A NEA	A Costo	NEA(CR)	Costo		
1-1	3.36	126	1.12	42																				
1-2	2.56	5,995	0.85	1,995																				
1-3	-1.2	12,700	-0.40	4,235	-1.2	12,700			-1.2	12,700			-1.2	12,700			-1.2	12,700			-1.2	12,700		
1-4	0	263,000	0	87,900			-0.40	83,665			-0.40	83,665	-4		-0.40	83,665	-4			-0.4	83,665	-4		
2-1	24.6	1,130	0.91	42																				
2-2	19.5	53,800	0.72	1,995																				
2-3	-3.5	114,500	-0.13	4,235	-3.5	114,500			-3.5	114,500			-3.5	114,500			-3.5	114,500			-3.5	114,500		
2-4	0		0	87,900			-0.13	83,665	2		-0.13	83,665	2		0.13	83,665	2			-0.13	83,665	2		
3-1	14.5	965	6.63	42	14.5	965				14.5	965				14.5	965								
3-2	12.5	45,830	0.54	1,995			0.09	1,953	46		0.09	1,953	46		0.09	1,953	46							
3-3	5.1	97,500	0.22	4,235			0.41	4,193	98		0.4	4,193	98		0.41	4,193	98	5.1	97,500			5.1	97,500	
3-4	0	202,000	0	87,900			0.63	87,858	7		0.63	87,858	7		0.63	87,858	7			0.22	83,665	3		
4-1	55	1,130	2.03	42																				
4-2	39.1	53,800	1.45	1,995																				
4-3	2.1	114,500	0.08	4,235	2.1	114,500				2.1	114,500				2.1	114,500						2.1	114,500	
4-4	0	238,000	0	87,900			0.08	83,665	.9		0.08	83,665	.9		0.08	83,665	.9			0.08	83,665	.9		
5-1	15.1	3,480	1.82	42																				
5-3	29	351,000	0.35	4,235	29	351,000				29	351,000				29	351,000						29	351,000	
5-4	0	730,000	0	87,900			0.35	83,665	4		0.35	83,665	4		0.35	83,665	4			0.35	83,665	4		
6-1	33.8	925	1.54	42	33.8	925																		
6-2	25.1	44,000	1.14	1,995			0.40	1,953	205*	25.1	44,000													
6-3	15.5	93,500	0.71	4,235			0.83	4,193	198		0.43	2,240	192*	15.5	93,500									
6-4	0	1,910,000	0	31,900			1.54	87,858	18		1.14	85,908	13		0.71	83,665	9			0.71	83,665	9*	0	190
5-2	109	165,000	1.32	1,995																				
Total					74.7	5				66.0	637,665				56.4	687,165				47.0	783,700			31.5

(1-3), (3-3)
(3-1), (4-3)
(5-3), (6-1)

(1-3), (2-3)
(3-1), (4-3)
(5-3), (6-2)

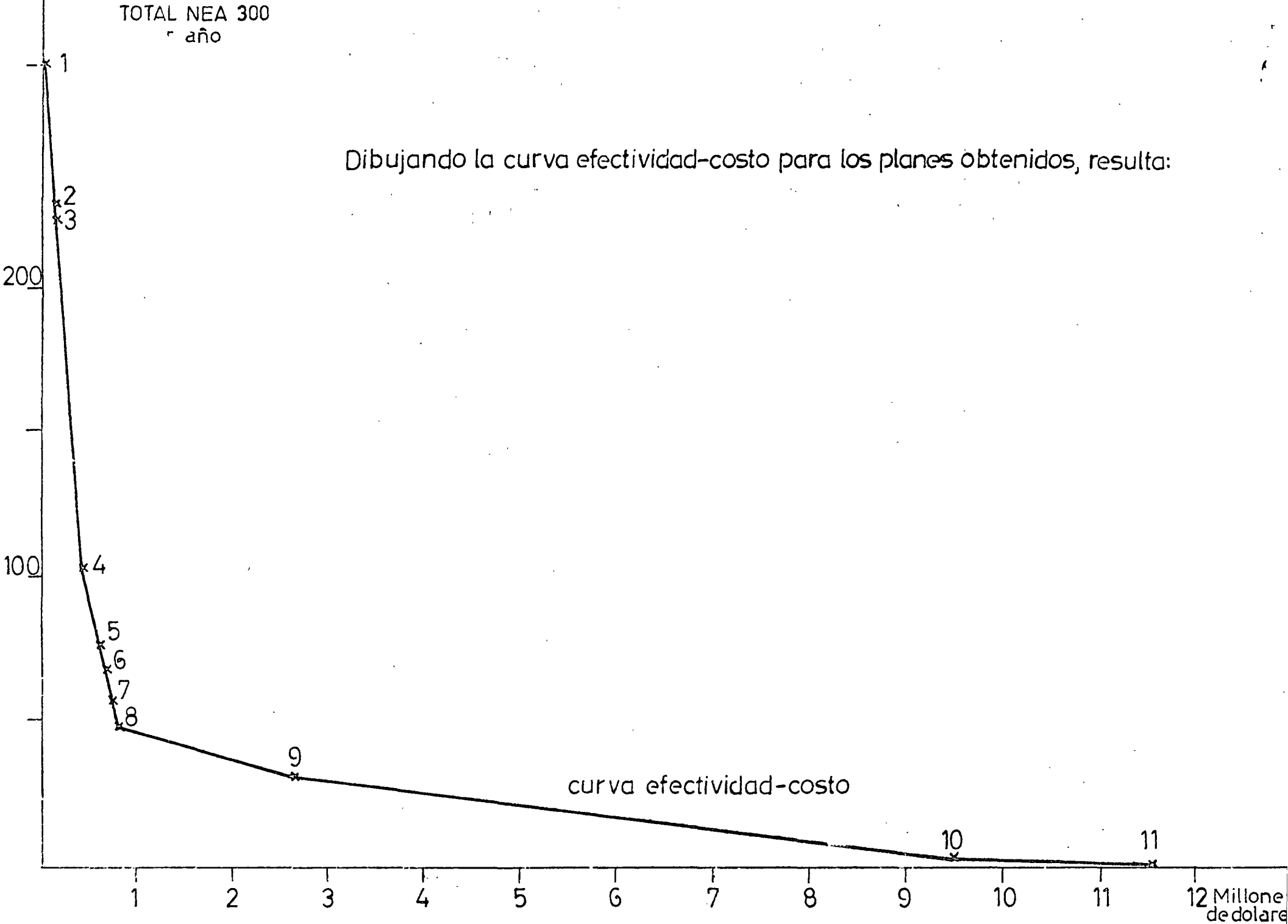
(1-3), (2-3)
(3-1), (4-3)
(5-3), (6-3)

(1-3), (2-3)
(3-3), (4-3)
(5-3), (6-3)

(1-3), (2-3)
(3-3), (4-3)
(5-3), (6-3)

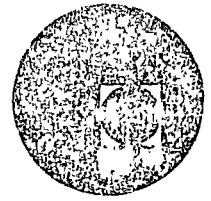
TOTAL NEA 300
año

Dibujando la curva efectividad-costo para los planes obtenidos, resulta:





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



ANALISIS DE INVERSIONES

FUNDAMENTOS DE LA EVALUACION DE PROYECTOS

M. en C. PEDRO PABLO PUIG LLANO.

MAYO, 1978.

- . TRES PREGUNTAS CUYAS RESPUESTAS REPRESENTAN LA INFORMACION QUE UNA ORGANIZACION DEBE OBTENER COMO RESULTADO DEL ANALISIS DE INVERSIONES.

- 1 ¿QUE TANTO, O HASTA QUE CANTIDAD, DEBE EMPLEARSE EN INVERSIONES ?
- 2 ¿QUE PROYECTOS ESPECIFICOS DEBEN LLEVARSE A CABO Y CUALES DEBEN DESECHARSE?
- 3 ¿QUE FUENTE O FUENTES DE FINANCIAMIENTO DEBEN EMPLEARSE?

ESTAS PREGUNTAS CORRESPONDE A TRES VARIABLES DE DECISION, O SEA, QUE SON VARIABLES CUYO CONTROL LO EJERCE LA ORGANIZACION.

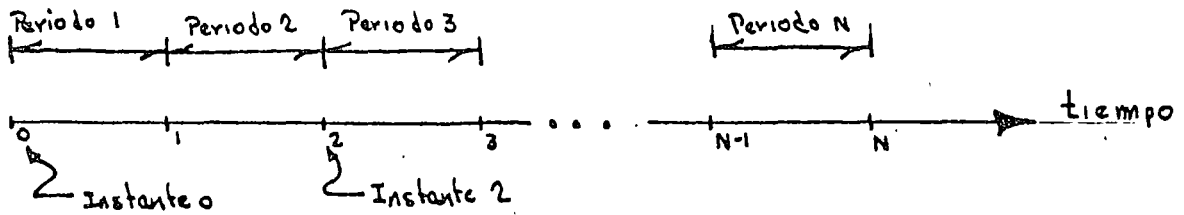
- . HECHOS A LOS QUE SE ENFRENTA UNA ORGANIZACION AL DECIDIR SOBRE LAS INVERSIONES QUE REALIZARA:

LA ESCASEZ DE RECURSOS Y EL GRAN NUMERO DE POSIBILIDADES PARA SU EMPLEO.

- . SE DEFINIO INVERSION EN UN SENTIDO AMPLIO, COMO EL SACRIFICIO DE UN CONSUMO ACTUAL EN LA ESPERANZA DE UNO MAYOR EN EL FUTURO.

- . PARA ESTABLECER LAS BASES DEL ANALISIS DE INVERSIONES SE "DEMOSTRO" LA EXISTENCIA DE LA PREFERENCIA RESPECTO AL TIEMPO Y DE LA PREFERENCIA RESPECTO AL RIESGO.

- . LA EXISTENCIA DE UNA TASA DE INTERES Y EL EMPLEO DE LOS PRINCIPIOS DEL INTERES COMPUESTO, NOS PERMITEN ESTABLECER "EQUIVALENCIAS" DE CANTIDADES MONETARIAS QUE OCURREN EN DIVERSOS INSTANTES EN EL TIEMPO.



FORMULAS DE EQUIVALENCIA

NOTACION

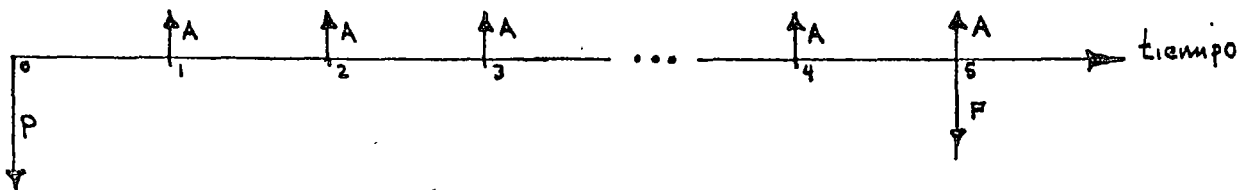
i = TASA DE INTERES (REPRESENTAN LA PREFERENCIA RESPECTO AL TIEMPO) PARA SU EMPLEO EN LAS FORMULAS SE EXPRESA EN DECIMAL.

N = NUMERO DE PERIODOS A CONSIDERAR

P = VALOR PRESENTE (EN EL INSTANTE 0)

F = VALOR FUTURO (EN EL INSTANTE N)

A = VALOR AL FIN DE CADA PERIODO DE UNA SERIE DE UNIFORME EN EL TIEMPO.



$$F = P(1+i)^N$$

$$P = F(1+i)^{-N}$$

$$F = A \frac{(1+i)^N - 1}{i}$$

$$A = F \frac{i}{(1+i)^N - 1}$$

$$P = A \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^{-N}}$$

$$A = P \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

DIFERENCIA ENTRE TASA DE INTERES EFECTIVA Y TASA DE INTERES NOMINAL.

i = TASA DE INTERES EFECTIVA, ESTO ES, POR PERIODO (TODAS LAS TASAS DE INTERES QUE SE EMPLEAN EN LOS CALCULOS DE EQUIVALENCIAS SON EFECTIVAS)

r = TASA DE INTERES NOMINAL, ESTO ES, POR "AÑO"

M = NUMERO DE PERIODOS POR CONSIDERAR EN UN AÑO. LA RELACION ENTRE ESTAS DOS TASAS ESTA DADA POR LA FORMULA.

$$i = \frac{r}{M}$$

SUPONGASE QUE SE PUEDE OBTENER UN PRESTAMO A UNA TASA DE INTERES DEL 1% MENSUAL. ¿EL PAGO DE INTERES POR ESTE PRESTAMO EQUIVALE AL DE UNA TASA DE INTERES DEL 12% ANUAL?. SI Y NO.

EL PAGO DE INTERES EQUIVALE AL DE UNA TASA NOMINAL DEL 12% AL AÑO, CALCULANDO LOS INTERESES DE CADA MES.

EL PAGO DE INTERES EQUIVALE AL DE UNA "TASA EFECTIVA ANUAL" DE $h\%$

$$(1+h)^1 = \left(1 + \frac{r}{M}\right)^M \qquad h = \left(1 + \frac{r}{M}\right)^M - 1$$

$$(1+h)^1 = \left(1 + \frac{0.12}{12}\right)^{12}$$

$$h = \left(1 + \frac{0.12}{12}\right)^{12} - 1 = (1+0.01)^{12} - 1 = (1.01)^{12} - 1 = 1.12683 - 1 =$$

$$= 0.12683 \qquad h = 12.68\%$$

INTERES COMPUESTO CONTINUA (CUANDO EL NUMERO DE PERIODO ES "MUY GRANDE").

$$h = \left(1 + \frac{r}{M}\right)^M - 1$$

DONDE h = TASA DE INTERES EFECTIVA ANUAL, SEA $k = M/r$

$$h = \left[\left(1 + \frac{1}{M/r}\right)^{M/r} \right]^r - 1 = \left[\left(1 + \frac{1}{k}\right)^k \right]^r - 1$$

SI EL NUMERO DE PERIODO POR AÑO $\rightarrow \infty$, EL INTERES COMPUESTO TIENDE A SER CONTINUO

$$M \rightarrow \infty$$

$$k = \frac{M}{r} \rightarrow \infty$$

$$\left(1 + \frac{1}{k}\right)^k \rightarrow e$$

$$\left[\left(1 + \frac{1}{k}\right)^k \right]^r - 1 \rightarrow e^r - 1$$

$$h \rightarrow e^r - 1$$

CASO DISCRETO

$$F = P(1+i)^N$$

CASO CONTINUO

$$F = P(1+e^r-1)^N = Pe^{rN}$$

$$F = Pe^{rN}$$

$$P = Fe^{-rN}$$

(EN TERMINOS DE LA TASA NOMINAL)

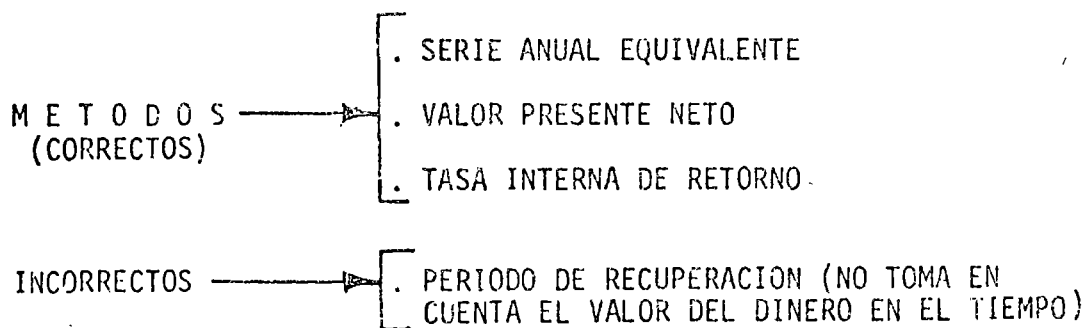
METODOS PARA SELECCION DE INVERSIONES

PARA SU APLICACION SE REQUIERE CONOCER:

- a) LOS VALORES DE LOS FLUJOS MONETARIOS INVOLUCRADOS
- b) EL INSTANTE EN EL TIEMPO EN QUE OCURREN
- c) LA TASA DE INTERES MINIMA ACEPTABLE (LA PREFERENCIA RESPECTO AL TIEMPO)

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ANALISIS DE INVERSIONES

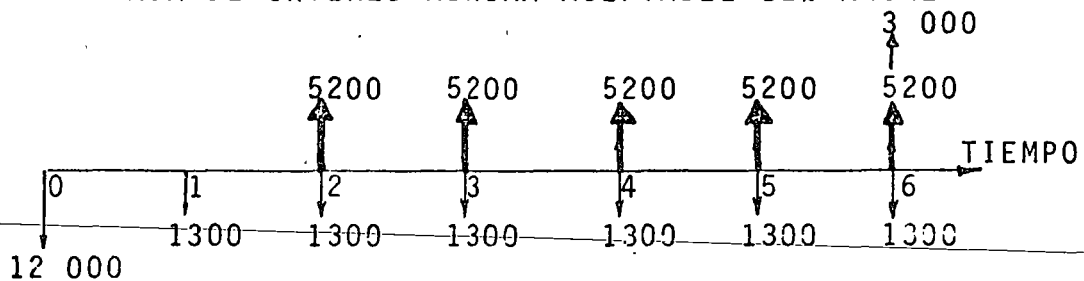
- 1 TODAS LAS DECISIONES DEBEN TOMARSE COMPARANDO ALTERNATIVAS
 - EL ANALISIS PRINCIPIA CON LA DETERMINACION DE TODAS LAS ALTERNATIVAS FAC-TIBLES.
- 2 SE REQUIERE DE UN COMUN DENOMINADOR A EFECTO DE COMPARAR LAS CONSECUEN-CIAS
 - TODAS LAS DECISIONES SE TOMAN EN UNA SOLA DIMENSION
 - REGLA PARA ALTERNATIVAS DE DIFERENTE VIDA UTIL
- 3 ENTRE ALTERNATIVAS SOLO IMPORTAN SUS **"DIFERENCIAS"**
 - CONSECUENCIAS COMUNES A LAS ALTERNATIVAS NO DEBEN SER CONSIDERADAS, YA QUE A TODAS LES AFECTA POR IGUAL.
 - LOS GASTOS EFECTUADOS CON ANTERIORIDAD A LA DECISION NO DEBEN SER CONSI-DERADOS.
- 4 LOS CRITERIOS PARA DECIDIR SOBRE INVERSIONES DEBEN RECONOCER EL VALOR DEL DINERO EN EL TIEMPO Y LOS PROBLEMAS DEL RACIONAMIENTO DEL CAPITAL.
- 5 LAS DECISIONES QUE PUEDAN SEPARARSE DEBEN REALIZARSE APARTE
 - DEBEN EXAMINARSE LOS PROBLEMAS CON CUIDADO PARA DETERMINAR EL NUMERO Y TIPO DE DECISIONES QUE SE DEBEN TOMAR.
- 6 DEBEN PONDERARSE LOS DIVERSOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE ASOCIADAS A LAS ESTIMACIONES FUTURAS.
- 7 DEBEN CONSIDERARSE LAS CONSECUENCIAS QUE NO PUEDAN EXPRESARSE CUANTITATI VAMENTE (EN TERMINOS MONETARIOS).
- 8 LA EFECTIVIDAD DEL ANALISIS DE INVERSIONES ES FUNCION DE SU IMPLEMENTA-CION EN LOS DIVERSOS NIVELES DE UNA ORGANIZACION.
- 9 LAS EVALUACIONES EX-POST MEJORAN LA CALIDAD DE LAS DECISIONES.



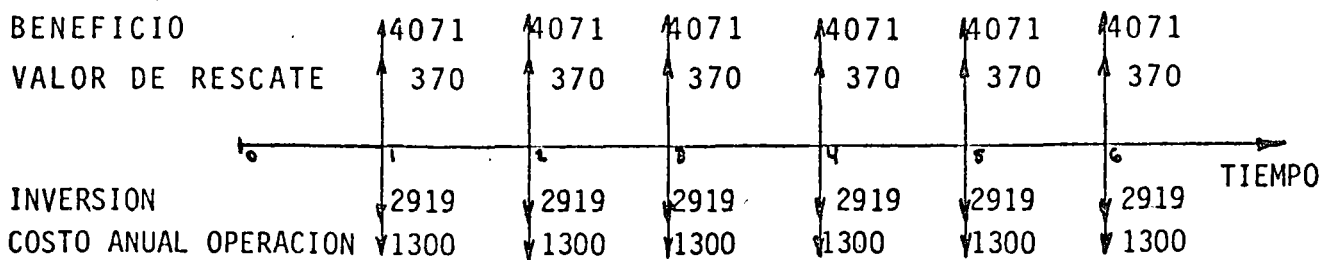
METODO DE LA SERIE ANUAL EQUIVALENTE:

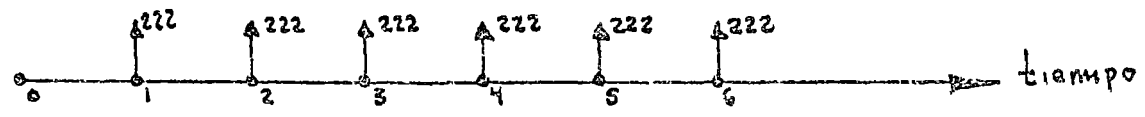
- CONSISTE EN TRANSFORMAR LOS FLUJOS MONETARIOS A SERIES UNIFORMES EN EL TIEMPO. SUMANDO EL VALOR DE LAS ANUALIDADES SE OBTIENE LA SERIE ANUAL EQUIVALENTE.
- OBTENCION DE LA SERIE ANUAL EQUIVALENTE PARA UN PROYECTO:

INVERSION 12 000
 VIDA UTIL 6 AÑOS
 VALOR DE RESCATE 3 000
 COSTO ANUAL DE OPERACION 1 300
 BENEFICIO ANUAL 5 200 (A PARTIR DEL FINAL DEL SEGUNDO PERIODO)
 TASA DE INTERES MINIMA ACEPTABLE 12% ANUAL



CONCEPTO	MONTO	FACTOR PARA EQUIVALENCIAS	SERIE UNIFORME
INVERSION	-12 000	0.24323	-2919
VALOR DE RESCATE	+ 3 000	0.12323	+ 370
COSTO ANUAL DE OPERACION	- 1 300	1	-1300
BENEFICIOS	+ 5 200	$(6.353) \times (0.12323)$ = 0.7829	<u>+4071</u>
SERIE ANUAL EQUIVALENTE			+ 222





Serie anual equivalente.

EL QUE LA SERIE ANUAL EQUIVALENTE SEA POSITIVA INDICA QUE EL PROYECTO ES ACEPTABLE.

METODO DEL VALOR PRESENTE NETO

- CONSIESTE EN TRANSFORMAR LOS FLUJOS MONETARIOS A CANTIDADES EQUIVALENTES AL PRINCIPIO DEL HORIZONTE DE PLANEACION (INSTANTE 0), SUMANDO ESTAS CANTIDADES SE OBTIENE EL VALOR PRESENTE NETO

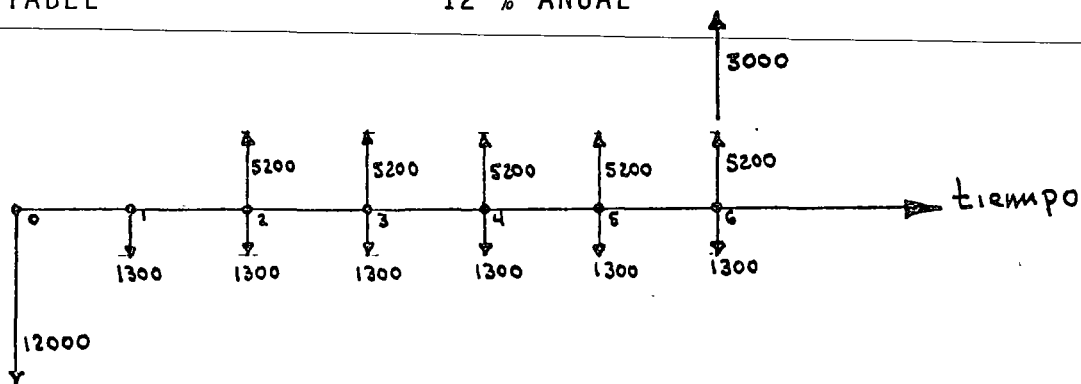
$$VP = \frac{B_0 - C_0}{(1+i)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+i)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+i)^2} + \frac{B_3 - C_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n}$$

DONDE: B_t ($t = 0, 1, \dots, n$) SON BENEFICIOS QUE OCURREN EN EL INSTANTE t .

C_t ($t = 0, 1, \dots, n$) COSTOS QUE OCURREN EN EL INSTANTE t .

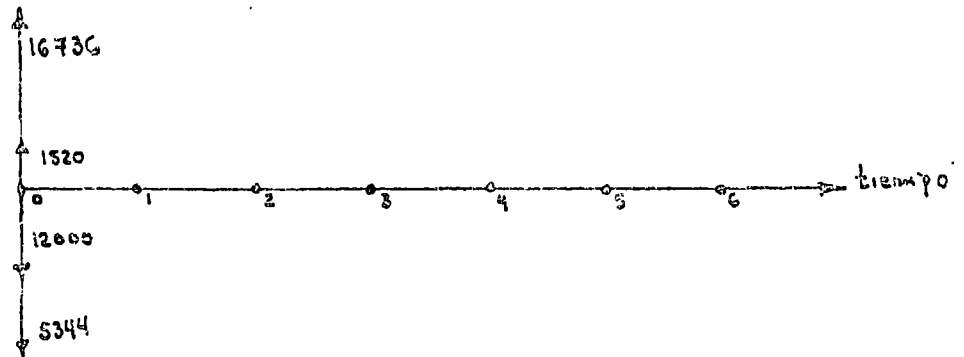
- OBTENCION DEL VALOR PRESENTE NETO DE UN PROYECTO.

INVERSION	12 000
VIDA UTIL	6 AÑOS
VALOR DE RESCATE	3 000
COSTO ANUAL DE OPERACION	1 300
BENEFICIO ANUAL	5 200 (A PARTIR DEL FINAL DEL SEGUNDO PERIODO)
TASA DE INTERES MINIMA ACEPTABLE	12 % ANUAL

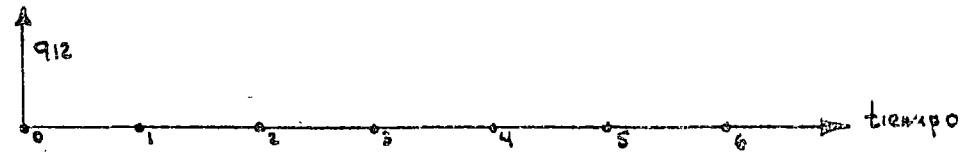


CONCEPTO	MONTO	FACTOR PARA EQUIVALENCIA	VALOR PRESENTE
INVERSION	-12 000	1	-12 000
VALOR DE RESCATE	+ 3 000	0.5066	+ 1 520
COSTO ANUAL DE OPERACION	- 1 300	4.111	- 5 344
BENEFICIOS	+ 5 200	(6.353) X (0.5066) = 3.2184	+16 736
VALOR PRESENTE NETO			+ 912

BENEFICIOS
VALOR DE RESCATE
INVERSION
COSTO ANUAL DE
OPERACION



VALOR PRESENTE
NETO DEL PRO-
YECTO



UN VALOR PRESENTE NETO POSITIVO INDICA QUE EL PROYECTO
ES ACEPTABLE

INTERPRETACION DEL VALOR PRESENTE NETO

- EL VALOR PRESENTE NETO ES UNA MEDIDA DEL INCREMENTO DE LOS ACTIVOS DE LA EMPRESA QUE REALIZA EL PROYECTO.
- REPRESENTA EL INCREMENTO EN CONSUMO POTENCIAL ACTUAL QUE OBTIENEN LOS DUEÑOS DE LA EMPRESA POR MEDIO DE ESE PROYECTO.
- ES EL PRECIO AL CUAL LA EMPRESA PODRIA VENDER SU OPCION A REALIZAR EL PROYECTO, SIN QUE ESTO LA DEJARA EN UNA SITUACION INFERIOR A LA ACTUAL

METODO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO

LA TASA INTERNA DE RETORNO ES AQUELLA TASA DE INTERES PARA LA CUAL EL VALOR PRESENTE NETO ES CERO, O SEA, EL VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS ES IGUAL AL VALOR PRESENTE DE LOS COSTOS.

J = TASA INTERNA DE RETORNO, TASA DE INTERES QUE HACE SE CUMPLA LA ECUACION.

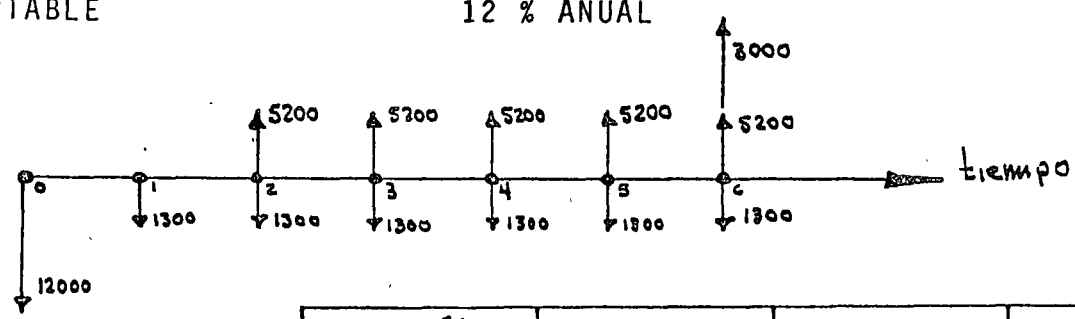
$$\frac{B_0 - C_0}{(1+J)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+J)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+J)^2} + \frac{B_3 - C_3}{(1+J)^3} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+J)^n} = 0$$

DONDE B_t $t=0,1,\dots,n$ SON BENEFICIOS QUE OCURREN EN EL INSTANTE t

C_t $t=0,1,\dots,n$ COSTOS QUE OCURREN EN EL INSTANTE t

OBTENCION DE LA TASA INTERNA DE RETORNO DE UN PROYECTO

INVERSION 12 000
 VIDA UTIL 6 AÑOS
 VALOR DE RESCATE 3 000
 COSTO ANUAL DE OPERACION 1 300
 BENEFICIO ANUAL 5 200 (A PARTIR DEL FINAL DEL SEGUNDO PERIODO)
 TASA DE INTERES MINIMA ACEPTABLE 12 % ANUAL



CONCEPTO	MONTO	0 %		12 %		15 %		13.94 %	
		F	VP	F	VP	F	VP	F	VP
INVERSION	-12000	1	-12000	1	-12000	1	-12000	1	-12000
VALOR DE RESCATE	+ 3000	1	+3000	0.5066	+1520	0.4323	+1297	0.457	+1371
COSTO ANUAL DE OPERACION	- 1300	6	-7800	4.111	-5344	3.789	-4919	3.8951	-5063
BENEFICIOS	+ 5200	5	+26000	3.2184	+16736	2.7464	+14281	3.0176	+15692
VALOR PRESENTE NETO			+9200		+912		-1341		0

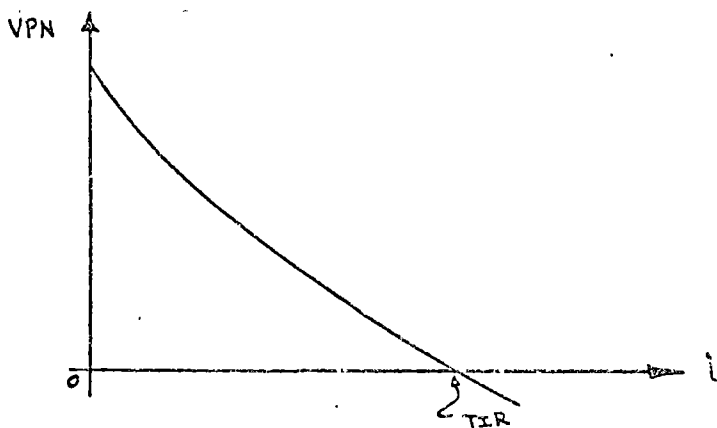
- EL QUE LA TASA INTERNA DE RETORNO SEA MAYOR QUE LA TASA DE INTERES MINIMA ACEPTABLE INDICA QUE LA REALIZACION DEL PROYECTO CONVIENE.

INTERPRETACION DE LA TASA INTERNA DE RETORNO

- ES LA TASA DE INTERES MAXIMA QUE LA ORGANIZACION PAGARIA, SI SE UTILIZARA UN FINANCIAMIENTO EXTERNO Y SE EMPLEARAN LOS BENEFICIOS QUE REPORTA EL PROYECTO PARA PAGAR EL CREDITO. LA ORGANIZACION, NI SUS DUEÑOS SE ENCONTRARIAN EN UNA SITUACION INFERIOR A LA ACTUAL SI SE DECIDIERA REALIZAR EL PROYECTO SIGUIENDO EL PROCEDIMIENTO DESCRITO.

EQUIVALENCIA DE LOS METODOS DEL VALOR PRESENTE NETO Y DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (DECISIONES BINARIAS SI O NO)

- EN LA SIGUIENTE CURVA, CUALQUIER PUNTO REPRESENTA EL VALOR PRESENTE NETO DE UN PROYECTO PARA LA TASA DE INTERES CORRESPONDIENTE.
- CURVAS DE ESTE TIPO CORRESPONDEN A PROYECTOS CUYOS FLUJOS MONETARIOS CONSISTEN EN UNA SERIE DE GASTOS SEGUIDOS DE UNA SERIE DE INGRESOS



EL PROYECTO SE ACEPTARA SI SU VALOR PRESENTE NETO ES POSITIVO (DESCONTANDO LOS FLUJOS MONETARIOS A LA TASA DE INTERES MINIMA ACEPTABLE); O BIEN, SI SU TASA INTERNA DE RETORNO ES MAYOR QUE LA MINIMA ACEPTABLE; LO QUE OCURRIRIA SIMULTANEAMENTE PARA EL CASO ILUSTRADO EN LA FIGURA.

- before income taxes, are either or both of the alternatives economically acceptable?
- (c) Using a minimum attractive rate of return of 9%, determine whether the extra investment in Location N (\$400,000 increment) is justified. That is, find the rate of return on the incremental investment and compare it to the minimum attractive rate of return.
- (d) Determine the rates of return for Locations M and N using the "original book method." Compare your results with a minimum attractive rate of return of 9%.
8. Solve Problem 7(d) using the "average book method."
9. Solve Problem 7(d) by using the average of the year-by-year rates of return as measured by the ratio of profit after depreciation to book value at start of year. Assume straight line depreciation.
10. Determine the rates of return for Locations M and N described in Problem 7 if the firm uses Haskold's method with a 4% sinking fund.

5

MULTIPLE ALTERNATIVES¹

TWO OR MORE MUTUALLY EXCLUSIVE ALTERNATIVES

Much of our earlier discussion was related to determining the economic acceptability of a single proposal. However, the capital budgeting problem is more generally concerned with selecting one or more alternatives from among a larger number of contenders for limited capital. Thus we now extend our discussion to include multiple (two or more) alternatives.

Before proceeding, it is helpful first to establish the concept of *mutual exclusiveness* in two contexts. First, we may be dealing with alternatives which are mutually exclusive in the sense that only one of several available alternatives is necessary to fill a given function, all others being superfluous. The second type of mutual exclusiveness refers to the case in which one or more of the alternatives may be acceptable, but, due to limitations of capital, not all the alternatives can be accepted. We will refer to the former case as "technical" and to the latter as "financial" mutual exclusiveness.

As examples, a firm may wish to invest in a new warehouse *and* install a computer facility in its central accounting office. If sufficient capital is available for one but not both of these projects, they are *financially mutually*

¹ Much of the material appearing in this chapter is based upon an earlier paper published by the author: "Two Principal Problems Associated with the Rate of Return Method: The 'Ranking Problem' and the 'Preselection Problem,'" *Journal of Industrial Engineering*, XVII, No. 4 (April 1966), 202-08.

exclusive. On the other hand, suppose the firm is considering building the new warehouse with either a one-story or two-story configuration. These latter alternatives are clearly *technically mutually exclusive*.

This notion of financial mutual exclusiveness is readily apparent when only two alternatives are considered. When dealing with an array of three or more proposals, however, this concept must be revised somewhat in order to consider alternatives which are *financially mutually exclusive at the margin*. This is to say that the last alternative acceptable, i.e., the marginal alternative, automatically excludes all other alternatives for which adequate financing is not available. Several of the examples presented in this chapter have been designed to amplify this concept and demonstrate correct methods of solution.

DIRECT SOLUTIONS BY RANKING ALTERNATIVES

Both the annual cost method and the present worth method are particularly useful when considering multiple alternatives since, unlike the rate of return method, alternatives may be *ranked* in descending order of present value or annual benefits, and the ranked order may be interpreted as a priority schedule.

The Annual Cost (or Net Annual Benefits) Method of Solution

Consider the following estimates for three alternatives which are being considered for a new boiler system to be installed in the central steam plant:

	Types of Boiler System		
	Alpha	Beta	Chi
Initial Cost	\$50,000	\$70,000	\$100,000
Annual operating costs	7,000	3,500	2,000
Annual maintenance costs	2,000	1,500	1,000
Net salvage value	0	10,000	30,000
Expected service life (years)	20	20	20

These proposals are technically mutually exclusive since each will accomplish the same function. (In some instances another alternative is implied: rather than purchase one of the defined proposals, invest the funds elsewhere at an assumed return defined by the minimum attractive rate of return. In this particular example, however, it is assumed that one of the three boiler systems

must be installed; failure to do so will result in an unacceptable loss to the firm.)

Using the given input data, the equivalent uniform annual costs (or net annual benefits) are determined for each of the alternatives, and that alternative with the smallest equivalent uniform annual cost (or largest net annual benefit) is selected. Assuming an interest rate of 10% before taxes, this procedure may be illustrated from the example:

[Equivalent Uniform Annual Cost

$$= (\text{Capital Recovery Cost}) + (\text{Annual Costs of Operation and Maintenance})]$$

$$\begin{aligned} \text{Thus: } EUAC (\text{Alpha}) &= \$50,000(CR - 10\% - 20) + \$7,000 + \$2,000 \\ &= \$50,000(0.11746) + \$9,000 \\ &= \$14,873 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EUAC (\text{Beta}) &= (\$70,000 - \$10,000)(CR - 10\% - 20) + \\ &\quad \$10,000(0.10) + \$3,500 + \$1,500 \\ &= \$60,000(0.11746) + \$1,000 + \$5,000 \\ &= \$13,048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EUAC (\text{Chi}) &= (\$100,000 - \$30,000)(CR - 10\% - 20) + \\ &\quad \$30,000(0.10) + \$2,000 + \$1,000 \\ &= \$70,000(0.11746) + \$3,000 + \$3,000 \\ &= \$14,222 \end{aligned}$$

Clearly the Beta system is least expensive since it has the smallest equivalent uniform annual cost.

The Present Worth Method of Solution

The present worth method of solution may be used to select from among mutually exclusive alternatives in a manner analogous to that of the annual cost method. That is, the net present worths of each of the alternatives are computed, and that alternative with the largest present value is selected.²

To illustrate this technique, consider two plans which have been suggested to local management for funding. The first involves installation of an overhead conveyor in the shipping department to reduce handling costs; the second calls for purchase of a special fixture and microscope which may be

² It is necessary, of course, that the planning horizons for all alternative equal.

used to reduce inspection costs. Estimates concerning these proposals are as follows:

	Overhead Conveyor	Fixture and Microscope
Initial Cost	\$50,000	\$30,000
Annual reductions for disbursements	20,000	15,000
Net salvage value	10,000	20,000
Expected service life ^a (years)	10	10

^aThe expected lives for the alternatives are assumed equal to avoid the complications arising from unequal lives (Chapter 3). Here, assume that each of the alternatives is associated with a common product, and the product will be discontinued after ten years.

If only \$50,000 is available to management for allocation at the time these proposals are presented, the alternatives are clearly financially mutually exclusive. Assuming an interest rate of 20% before taxes, equivalent present worths (*PW*) of the alternatives are now determined:

$$PW = (\text{Initial Cost}) + (\text{Present Value of Future Consequences})$$

$$\begin{aligned} PW (\text{Conveyor}) &= -\$50,000 + \$20,000(SPW - 20\% - 10) + \\ &\quad \$10,000(PW - 20\% - 10) \\ &= -\$50,000 + \$20,000(4.192) + \$10,000(0.1615) \\ &= \$35,455 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PW (\text{Fixture \& 'scope}) &= -\$30,000 + \$15,000(SPW - 20\% - 10) + \\ &\quad \$20,000(PW - 20\% - 10) \\ &= -\$30,000 + \$15,000(4.192) + \$20,000(0.1615) \\ &= \$36,110 \end{aligned}$$

This analysis indicates that both proposals are superior to the implied third alternative, that is, to invest the entire \$50,000 elsewhere at a minimum expected return of 20% before taxes. Of the two, however, investment in the fixture and microscope appears to offer the greater return since it has the larger present worth. That is, it is preferable to invest \$30,000 in the fixture and microscope and \$20,000 elsewhere at 20% than it is to invest the entire \$50,000 in the overhead conveyor.

SOLUTIONS REQUIRING INCREMENTAL ANALYSIS

Review of the Rate of Return Calculation

Recall from Chapter 3, that the rate of return of a given proposal is defined as the interest rate (per interest period) at which the present worth of receipts resulting from the project is exactly equal to the present worth of disbursements. Stated somewhat differently, it is the interest rate at which the present worth of all receipts and disbursements is equal to zero, where receipts and disbursements are treated as positive and negative cash flows respectively. Mathematically, it is that value of *i* which satisfies the equation:

$$0 = \sum_{j=0}^N C_j \frac{1}{(1+i)^j} \quad (3.4)$$

where *C_j* is the cash flow which takes place at the end of the *j*th interest period, *N* is the total number of interest periods over which the cash flow takes place, and *i* is the rate of return. (This equation represents the assumption that cash flows take place, and interest is compounded, at the end of each interest period. If these assumptions are not valid for any given case, the basic present worth equation may be modified by using the appropriate factors as developed in Chapter 2.) In order for the project to be acceptable, the solving rate of return must then be compared to some minimum attractive rate which could be earned if the project were rejected and the capital invested elsewhere. These two steps taken together, (a) determination of the project rate of return and (b) comparison to the minimum attractive rate of return, are the essential features of the rate of return method.

Consideration of Two Alternatives

Selection of one proposal from among two mutually exclusive alternatives represents the simplest case involving multiple alternatives. To illustrate the proper use of the rate of return method in this instance, consider the two alternatives described in Table 5-1. ALTERNATIVES A and B each have useful lives of ten years and zero salvage values. The minimum attractive rate of return is assumed to be 6%, and the total capital available for investment is \$25,000. The required initial investments are \$10,000 and \$20,000 for A and B, respectively, and hence only one of the two alternatives may be accepted. The two proposals are financially mutually exclusive since insufficient funds are available for acceptance of both.

The rates of return for the two alternatives as shown in Column (e) of

Table 5-1
Financially Mutually Exclusive Alternatives

(Assumptions: Expected life of each proposal is 10 years. Expected salvage value of each proposal is zero. Minimum attractive rate of return is 6%. Total capital available for investment is \$25,000.)

Alter- native (a)	Initial Invest- ment (b)	Net Annual Benefits (c)	$(SPW - i\% - 10)$ (d) = (b)/(c)	Project Rate of Return (e)	Present Worth of Net Annual Benefits (f)	Net Present Worth (g) = (f) - (b)
A	\$10,000	\$1,628	6.143	10%	\$11,982	\$1,982
B	20,000	3,116	6.418	9%	22,934	2,934

Table 5-1 are the solutions of the following general equation:

$$\text{Present Worth (PW)} = 0 = -C + A(SPW - i\% - 10)$$

$$(SPW - i\% - 10) = C/A$$

where C is the initial investment and A represents the net annual benefits. This follows directly from Equation 3.4 when the C_j are uniform for $j = 1, 2, \dots, N$. That is, rather than use a series of single payment present worth factors, the uniform series present worth factors may be employed to simplify the calculations.

The project rates of return are shown in Table 5-1 as 10% and 9% for ALTERNATIVES A and B, respectively. But, since only \$25,000 is available for investment, does this mean that A should be accepted and B rejected? No. The rates of return given in Column (e) of Table 5-1 do not necessarily indicate the superiority of one proposal over the other. In fact, a correct analysis of these alternatives indicates that B is preferable to A.

Parenthetically, as discussed earlier in this chapter, the present worth method may be used to determine the relative attractiveness of the alternatives. Column (f) of Table 5-1 summarizes the present worth of the net annual benefits as shown in Column (c), and Column (g) is the sum of all the cash flows incurred by the proposal. The mathematical statement of these calculations is:

$$PW = A(SPW - 6\% - 10) - C$$

where

$$(SPW - 6\% - 10) = 7.360$$

Since the resulting net present worth of ALTERNATIVE A is less than that of B, present worth analysis indicates that the latter proposal is superior.

Proper application of the rate of return method also indicates that B is superior to A. The original investment of \$10,000 in ALTERNATIVE A yields a rate of return of 10%, which is greater than the minimum attractive rate required, 6%. In order to determine if B is superior to A, it is now necessary to compute the return on the incremental investment required by selecting B rather than A. Clearly, the incremental investment of \$10,000 (= \$20,000 - \$10,000) produces incremental net annual benefits of \$1,488 (= \$3,116 - \$1,628) at the end of each year for a period of ten years. Thus the $(SPW - i\% - 10)$ is 6.72 (= \$10,000/\$1,488), and reference to compound interest tables indicates that the incremental rate of return is about 8%. Since this is greater than the minimum attractive rate of return, we conclude that the additional investment in B is justified and that A should be rejected in favor of B. It is demonstrably incorrect to rank two alternatives in descending order of rates of return and to conclude that that alternative having the higher rate is economically superior. Rates of return are not indices of desirability.

Correct application of the rate of return method requires determination of the prospective return on the incremental investment, but it assumes that

irrelevant increments are avoided. In the example, B is compared to A only because A was found to be preferable to "doing nothing." In the event that the rate of return for A would have been, say, 4%, then B would be compared to "doing nothing" without further reference to A. That is, if the rate of return for any project is less than the minimum attractive rate of return, that project is removed from the list of prospective alternatives.

Consideration of More than Two Alternatives

The data summarized in Table 5-2 is the result of adding one more proposal, ALTERNATIVE C, to A and B previously discussed. All assumptions pertaining to project lives, salvage values, and minimum attractive rate of return are unchanged, except that the capital available for investment is now \$75,000. All calculations have been made as in the preceding section.

TECHNICALLY MUTUALLY EXCLUSIVE PROPOSALS. Assume that alternatives A, B, and C are equivalent methods for performing a given function, i.e., only one of the three need be accepted. As indicated by Column (g) of Table 5-2, present worth is maximized if C is selected to the exclusion of A and B.

Although Column (e) indicates that A has the highest project rate of return, *correct* use of the rate of return method yields the proper solution, ALTERNATIVE C. First, ALTERNATIVE A is acceptable (as compared to "doing nothing") since its project rate of return, 10%, is greater than the minimum attractive rate of return. Second, B is compared to A and, as was determined in the previous section, B is found to be preferable to A since the incremental rate of return is greater than 6%. Third, C is compared to B:

$$\text{Incremental investment} = \$50,000 - \$20,000 = \$30,000$$

$$\text{Incremental net annual benefits} = \$7,450 - \$3,116 = \$4,334$$

$$\text{Incremental present worth} = -\$30,000 + \$4,334(SPW - i\% - 10)$$

$$(SPW - i\% - 10) = \$30,000/\$4,334 = 6.922$$

Consulting the compound interest tables for this value of the uniform series present worth factor, we find that the incremental rate of return is greater than the minimum attractive rate of return, and thus C is preferable to B (which is preferable to A, which is preferable to "doing nothing"). Hence, as was indicated by the present worth method, C is the best alternative of those offered.

FINANCIALLY MUTUALLY EXCLUSIVE PROPOSALS. Suppose that *one or more* of the proposals shown in Table 5-2 may be accepted because they are not technically equivalent, that is, each performs a different function. The rates of return in Column (e) are each greater than the minimum attractive rate of return, indicating that all these proposals are desirable. However, since the total initial investment of all three (\$80,000) exceeds the limit of available

Table 5-2
Three Mutually Exclusive Alternatives

(Assumptions: Expected life of each proposal is 10 years. Expected salvage value of each proposal is zero. Minimum attractive rate of return is 6%. Total capital available for investment is \$75,000.)

Alternative (a)	Initial Investment (b)	Net Annual Benefits (c)	(SPW - i% - 10) (d)	Project Rate of Return (e)	Present Worth of Net Annual Benefits (f)	Net Present Worth (g)
A	\$10,000	\$1,628	6.143	10%	\$11,982	\$1,982
B	20,000	3,116	6.418	9%	22,934	2,934
C	50,000	7,450	6.711	8%	54,832	4,832

capital, the problem is one of determining which of the alternatives must be excluded from the final capital budget.

Initially, there are eight possible alternatives:

I	Do nothing, that is, invest all funds elsewhere at the minimum attractive rate of return, 6%.	
II	Select ALTERNATIVE A only	($P = \$10,000$).
III	Select ALTERNATIVE B only	($P = \$20,000$).
IV	Select ALTERNATIVE C only	($P = \$50,000$).
V	Select ALTERNATIVES A and B	($P = \$30,000$).
VI	Select ALTERNATIVES A and C	($P = \$60,000$).
VII	Select ALTERNATIVES B and C	($P = \$70,000$).
VIII	Select ALTERNATIVES A, B, and C	($P = \$80,000$).

Each of these possibilities is considered to be a "budget package," that is, the possibilities have now been defined as mutually exclusive investment strategies.

The net present worth of investing all funds elsewhere at the minimum attractive rate of return is, of course, zero. The net present worth of the next three packages — A, B, or C considered independently — is shown in the last column of Table 5-2. Finally, the net present worth of the last four packages is computed in Table 5-3 and shown in Column (f). Since the present worth

Table 5-3

Present Worth Solution Based Upon Budget Packages

Package ^a (a)	Alter- natives (b)	Initial Invest- ment (c)	Net Annual Benefits (d)	Present Worth of Net Annual Benefits (e)	Net Present Worth (f)
V	A and B	\$30,000	\$ 4,744	\$34,916	\$4,916
VI	A and C	60,000	9,078	66,814	6,814
VII	B and C	70,000	10,566	77,766	7,766
VIII	A, B and C	80,000	not financially feasible (only \$75,000 available).		

^a There are, of course, three other possible packages: A, B, or C taken alone. See Table 5-2.

is maximized by selecting package VII (ALTERNATIVES B and C), it follows that the alternative to be rejected is A.

This is not the same solution which would have been obtained by simply ranking the alternatives in descending order of rates of return and selecting those proposals with the higher values. This present worth solution clearly illustrates the error which may result from assuming that rates of return strictly correspond to economic utility.

To illustrate that the rate of return method gives the identical solution, refer to the calculations shown in Table 5-4. The procedure for selecting the

Table 5-4

Rate of Return Solution Based Upon Budget Packages

Compare Packages (a)	Incre- mental Initial Invest- ment (b)	Incre- mental Net Annual Benefits (c)	($SPW - i\% - 10$) (d)	Incre- mental Package Rate of Return (e)	Accept (f)
II with I	\$10,000	\$1,628	6.143	10.0%	II
III with II	10,000	1,488	6.720	8.0%	III
IV with III	30,000	4,334	6.922	7.3%	IV
V with IV	0	410	0	"	V
VI with V	30,000	4,334	6.922	7.3%	VI
VII with VI	10,000	1,488	6.720	8.0%	VII
VIII with VII	. . . not financially feasible (only \$75,000 available)				

optimum package is precisely the same as that given in connection with the previous problem. The packages are arrayed in ascending order of initial investment — an initial condition which is computationally helpful but not otherwise necessary — and each increment of investment is examined to determine whether the annual benefits which result from the added investment produce a rate of return greater than the required minimum. For example, total initial investment of \$30,000 in package V will produce total net annual benefits of \$4,744 each year for ten years, and the corresponding figures for package VI are \$60,000 and \$9,078. If VI is chosen rather than V, the additional investment of \$30,000 will produce additional annual benefits of \$4,334. The incremental rate of return is 7.3%, and, since this is greater than the required minimum, the additional investment in VI is justified.

The end result of the iterative procedure indicates that package VII is superior to all others. This is, of course, precisely the same solution as that

obtained by the present worth method and different than the solution resulting from a simple ranking of the alternatives in descending order of rates of return.

THE PROBLEM OF PRELIMINARY SELECTION

A problem closely associated with the "ranking error" arises when there is some form of selection of alternatives preliminary to preparation of the final capital budget. This case generally occurs in one of two situations. First, some sort of screening may take place at organizational levels subordinate to (or other than) the senior executive level at which the final budget is structured. Second, a proposal may be selected from among two or more alternatives, each of which is mutually exclusive for *technical* reasons, prior to consideration as a contender for limited capital funds.

Example: A company is considering four alternatives, shown in Table 5-5. As in the previous examples, it is assumed that each proposal has an expected life of ten years and zero salvage value, and the pre-tax minimum attractive rate of return is 6%. Total capital available for investment is \$30,000. The two proposals, D1 and D2, represent alternative inspection devices specially designed to reduce scrap associated with a particular production operation. Since selection of one precludes the other, they are technically mutually exclusive.

The first question to be resolved is the selection of either D1 or D2. In Table 5-5 the prospective rate of return for ALTERNATIVE D1 is shown to be 9%, and since this is greater than the required minimum of 6%, D1 is acceptable. Further, the incremental return on the extra investment is also greater than 6%, indicating that we are justified in selecting D2 rather than D1. That is, if D2 is selected rather than D1:

$$\text{Incremental investment} = \$20,000 - \$10,000 = \$10,000$$

$$\text{Incremental net annual benefits} = \$2,981 - \$1,558 = \$1,423$$

$$\begin{aligned} \text{Incremental present worth} &= \$10,000 + \$1,423(\text{SPW} - i\% - 10) \\ (\text{SPW} - i\% - 10) &= \$10,000/\$1,423 = 7.027 \end{aligned}$$

Thus, from compound interest tables, the incremental rate of return is 7%.

Having selected D2 as the most desirable of the two technically mutually exclusive alternatives, we now consider A, D2, and E as candidates for the \$30,000 available for investment. Since these three proposals require a total first cost of \$40,000, however, it is clear that one must be excluded from the final budget. But which one? If the alternatives are ranked in descending order of rates of return — as they are in Table 5-5 — that alternative having the lowest rate is E, and it might be concluded that the budget should therefore include only A and D2. But this is the "ranking error," and the conclusion is quite incorrect.

Table 5-5
Illustration of Ranking Error with Preliminary Selection

Alternative (a)	Initial Investment (b)	Net Annual Benefits (c)	(SPW - i% - 10) (d)	Project Rate of Return (e)	Present Worth of Net Annual Benefits (f)	Net Present Worth (g)
A	\$10,000	\$1,628	6.143	10%	\$11,982	\$1,982
D1	10,000	1,558	6.418	9%	11,467	1,467
D2	20,000	2,981	6.709	8%	21,940	1,940
E	10,000	1,457	6.863	7.5%	10,724	724

Assumptions: Expected life of each proposal is 10 years. Expected salvage value of each proposal is zero. Minimum attractive rate of return is 6%. Total capital available for investment is \$30,000.

The proper decision may be obtained by first considering the various packages (alternative budgets) which are available. There are twelve of these: the always possible decision to invest all the funds elsewhere at the minimum attractive rate of return, investment in either A, D1, D2, or E, considered independently, and investment in any one of the seven packages arrayed in Table 5-6. Excluding package VII because of insufficient funds, we see that net present worth is maximized if VI is accepted as the optimum package.

Table 5-6

Present Worth Solution Based Upon Budget Packages

Package ^a (a)	Alter- natives (b)	Initial Invest- ment (in M) (c)	Net Annual Benefits (d)	Present Worth of Net Annual Benefits (e)	Net Present Worth (f)
I	A and D1	\$20	\$3,186	\$23,449	\$3,449
II	A and E	20	3,085	22,706	2,706
III	D1 and E	20	3,015	22,190	2,190
IV	A and D2	30	4,609	33,922	3,922
V	D2 and E	30	4,438	32,664	2,664
VI	A, D1 and E	30	4,643	34,172	4,172
VII	A, D2 and E	40	not financially feasible (only \$30,000 available).		

^aThe four additional packages, A, D1, D2 and E taken alone, are shown in Table 5-5.

Application of the present worth method indicates that acceptance of A, D1, and E is the best possible decision under the circumstances. (The rate of return method gives the same results if the packages are analyzed using the incremental technique previously discussed.) Preliminary selection from among technically mutually exclusive alternatives, coupled with the "ranking error," yields an incorrect solution because it assumes that the excluded ALTERNATIVE D1 should not be considered further. This assumption is valid, however, only if unlimited capital is available for investment. If *all* possible alternatives are not considered, including those which may be mutually exclusive for technical reasons, there is no assurance that the final capital budget represents the optimum employment of limited funds. Moreover, even properly applied procedures will give incorrect results under these circumstances, as *it* be seen by reviewing Table 5-6. If ALTERNATIVE D1 were

eliminated from consideration by virtue of the fact that D2 is superior to it, packages I, III, and VI would not be considered. Of the remaining packages, present worth is maximized by the selection of IV, indicating that A and D2 should be accepted in the final budget. A better alternative will have been overlooked.

SUMMARY

Two or more investment proposals may each be capable of fulfilling a given function. These alternatives are then said to be mutually exclusive for technical reasons. Further, proposals may be mutually exclusive due to limitations of capital. When insufficient funds are available for the financing of all desirable alternatives, the selection of the last (marginal) project precludes selection of one or more of the others.

Regardless of whether alternatives are mutually exclusive for technical or financial reasons, valid techniques must be employed for selection of the most economical project(s) from among all contenders. When using the annual cost method, the equivalent uniform annual cost (or net annual benefits) of each of the alternatives is determined and the most desirable projects are directly indicated by the results. The present worth method is analogous in that the best projects are selected by examining net present values of the cash flows for all alternatives.

Although there is a one-to-one correspondence between a ranked order of annual costs (or present worths) and relative economic attractiveness, alternatives should *not* be compared on the basis of their respective rates of return. That is, projects having higher rates of return are not necessarily superior to those yielding smaller rates of return. The rate of return method requires that incremental rates of return be calculated by successively comparing increments of investment with incremental cash flows resulting from those investments. This procedure is iterative, but care should be taken to insure that comparisons are not made between alternatives, one of which has been proven uneconomic by a prior calculation.

In the event that financially mutually exclusive alternatives are being considered, correct analysis must be based upon the definition of alternative capital budget packages, each of which is mutually exclusive. Once all the packages have been completely described, the optimum package may be selected by any one of the several methods commonly used in economic analysis which takes into account the amount and timing of cash flows and the time value of money. Again, if the rate of return method is used, it is essential that the optimum package be chosen by an iterative technique in which successive increments of investment are examined to determine if they yield incremental rates of return in excess of the required minimum. (Caution: acceptance of that package having the highest rate of re is simply a repetition of the ranking error.)

It should be noted that the "budget package" formulation relates entirely to the use of the rate of return method. The incremental approach is relatively inefficient, but fortunately other procedures for solution of the capital budgeting problem are available.⁴ However, these techniques generally depend upon net present worths or other hierarchical measures as the appropriate figure of merit.

The last example in this chapter illustrates the problem which arises when selection of alternatives takes place prior to determination of the final capital budget. If investment funds are limited, it may be better to accept the inferior of two or more technically mutually exclusive alternatives in order to "free" capital for investment in one or more other projects. (In the example, D1 and E together were superior to D2 alone.) The budgeting procedures of most firms are such that it may be extremely difficult, if not impossible, to avoid preselection of alternatives. Nevertheless, it may be possible to take some reasonable steps to guard against this error, particularly with respect to those proposals requiring large capital outlays.

PROBLEMS

1. The Comma Corporation is considering relocation of its western processing plant. Six alternatives are presently under consideration by management:

Alternative	Required Initial Investment	Annual Reduction in Disbursements as Compared to Existing Location
I	\$1,300,000	\$ 300,000
II	1,600,000	500,000
III	2,100,000	820,000
IV	2,600,000	840,000
V	3,600,000	1,200,000
VI	5,000,000	1,520,000

It is assumed that the relocated plant will be used for fifty years. Regardless which alternative is selected, it is expected that the plant will have a

⁴Our capital budgeting problem described in this chapter is occasionally referred to as the *Lorie-Savage Problem* after an earlier article: Lorie, J. H., and L. J. Savage, "Three Problems in Rationing Capital," *Journal of Business*, XXVIII, No. 4 (October 1955), pp. 229-39. Several mathematical programming methods have been proposed for the determination of the optimal "portfolio" (set of alternatives to be selected), e.g., Lagrangian multipliers, dynamic programming, linear programming, and integer programming. Discussion of these techniques is beyond the scope of this text, but, for the reader interested in additional references, we especially recommend: Weingartner, H. Martin, "Capital Budgeting of Investments," *Management Science*, XII, No. 7 (March 1966), pp. 485-516.

net salvage value of approximately zero at the end of the fifty years. The pre-tax minimum attractive rate of return used by the Corporation is 25%.

- Use the *annual cost method* to determine which alternative, if any, should be selected.
- Use the *present worth method* to select from among the alternatives described in Problem 1.
 - Use the *rate of return method* to select from among the alternatives described in Problem 1.
 - The Asterisk Association is considering purchase of a small computer for its Research Department. Several mutually exclusive alternatives are being considered. Estimates relative to each are as follows:

Computer	First Cost of Computer	Estimated Salvage Value 10 Years Hence	Net Annual Savings Resulting from New Computer vs. Existing Conditions
A	\$280,000	\$240,000	\$46,000
B	340,000	280,000	56,000
C	380,000	310,000	62,000
D	440,000	350,000	72,000

The company plans to keep the computer for ten years, at which time it will sell it. If the pre-tax minimum attractive rate of return is 15%, use the *present worth method* or the *annual cost method* to determine which alternative, if any, should be selected.

- Use the *rate of return method* to select from among the alternatives described in Problem 4.
- A Current Lighting System is presently installed at the executive headquarters of the Certain Corporation. Two other systems are under consideration, each of which is more costly initially but will increase the time between replacements. Estimates for the proposals are as follows:

	Lighting System		
	Current	Lumenite	Wattsnu
Time between replacements	2 years	3 years	6 years
Initial Cost	\$20,000	\$30,000	\$50,000
Annual Operating Costs	\$ 3,000	\$ 3,500	\$ 2,500
Net Salvage Value	0	0	0

**LISTA DE COMPROBACIÓN Y CONTROL DEL CONTENIDO DE
UN PROYECTO**

I. DESCRIPCIÓN SUMARIA DEL PROYECTO

a) *Objetivos del proyecto*

i) Identificación del producto

- Calidad
- Destino
- Grado de esencialidad
- Durabilidad
- Usuarios o consumidores

ii) Caracterización del proyecto

- Naturaleza
- Importancia
- Ubicación sectorial y localización física

b) *Síntesis de las conclusiones*

i) Del estudio de mercado

- Demanda actual del producto y su proyección
- Oferta actual y futura
- Fracción de la demanda que atenderá el proyecto

ii) Del estudio técnico

- Capacidad instalada
- Insumos críticos
- Tecnología
- Rendimientos físicos
- Localización
- Obras físicas principales o características
- Características principales de la empresa como organización
- Fechas principales de la realización del proyecto
- Costo de producción total y unitario en funcionamiento normal

iii) Del estudio financiero

- Necesidades totales de capital
- Capital propio y créditos
- Ingresos y gastos en funcionamiento normal
- Punto de nivelación

iv) De la evaluación económica

- Principales relaciones del proyecto con la economía del país, región y sector
- Criterios adoptados para la evaluación
- Principales indicadores y coeficientes utilizados
- Síntesis de las conclusiones de la evaluación

v) Del plan de ejecución

- Fechas importantes de iniciación y terminación de las tareas de ejecución del proyecto
- Alternativas de plazos de ejecución y sus costos

II. ESTUDIO DE MERCADO

a) *El producto en el mercado*

- i) Producto principal y subproductos
- ii) Productos sustitutivos o similares
- iii) Productos complementarios

b) *El área del mercado*

- i) Población
 - Contingente actual y tasa de crecimiento
 - Estructura y sus cambios
- ii) Ingresos
 - Nivel actual y tasa media de crecimiento
 - Estratos actuales y cambios en la distribución
- iii) Factores limitativos de la comercialización o distribución
 - Alterables (plazo viable para alterarlos)
 - Inalterables

c) *Comportamiento de la demanda*

- i) Situación actual
 - Series estadísticas básicas
 - Estimación de la demanda actual
 - Distribución espacial y tipología de los consumidores
- ii) Características teóricas de la demanda
 - Coeficientes de crecimiento histórico
 - Índices básicos y funciones y curvas de demanda
- iii) Situación futura — Proyección de la demanda
 - Extrapolación de la tendencia histórica
 - Análisis de los factores condicionantes de la demanda futura
 - Previsión corregida y calificada de la demanda futura

d) *Comportamiento de la oferta*

- i) Situación actual
 - Series estadísticas básicas
 - Estimación de la oferta actual
 - Inventario crítico de los proveedores principales
- ii) Análisis del régimen de mercado
 - Naturaleza y grado de la intervención estatal
 - Grado de competencia entre los proveedores
- iii) Situación futura — Evaluación previsible de la oferta
 - Utilización de capacidad ociosa
 - Planes y proyectos de ampliación de la capacidad instalada
 - Análisis de los factores que condicionan la evolución previsible
 - Estimación corregida y calificada de la oferta futura

e) *Determinación de los precios del producto*

- i) Mecanismos de formación de los precios del producto
- ii) Márgenes de precios probables y su efecto sobre la demanda
 - Análisis de las series históricas de precios
 - Hipótesis de evolución futura de los precios
 - Influencia prevista de los precios en la cuantía de la demanda

f) *Posibilidades del proyecto (posición en el mercado)*

- i) Condiciones de competencia del proyecto
- ii) Demanda potencial del proyecto

III. ESTUDIO TÉCNICO

ESTUDIO BÁSICO

A. *Tamaño*

a) *Capacidad del proyecto*

- i) Definición del tamaño
- ii) Capacidad diseñada
- iii) Márgenes de capacidad utilizables:
 - Reservas
 - Sobrecarga posible
 - Fraccionamiento

b) *Factores condicionantes del tamaño*

- i) Dimensión del mercado
- ii) Capacidad financiera
- iii) Disponibilidad de insumos materiales y humanos
- iv) Problemas de transporte
- v) Problemas institucionales
- vi) Capacidad administrativa

c) *Justificación del tamaño en relación con el proceso y la localización*

B. *Proceso*

1. Descripción de las unidades de transformación (separando las existentes y las proyectadas)

a) *Descripción del proceso de transformación*

- i) Insumos principales y secundarios
- ii) Insumos alternativos y efectos de su empleo
- iii) Productos principales, subproductos e intermedios
- iv) Residuos
- v) Identificación y descripción de las etapas intermedias
- vi) Flujograma del proceso total

b) *Descripción de las instalaciones, equipos y personal*

- i) Del proceso de transformación
- ii) De los sistemas complementarios

2. Calificación de las unidades existentes

a) *Calificación del diseño* (proceso de transformación e instalaciones)

- i) Problemas de adecuación
- ii) Problemas de escala de producción

b) *Calificación de la operación*

- i) En cuanto a insumos
- ii) En cuanto a instalaciones
- iii) En cuanto a productos
- iv) En cuanto a mano de obra
- v) En cuanto a economías externas

c) *Posibilidades de expansión de la capacidad utilizada*

- i) Capacidad ociosa
- ii) Instalaciones incompletas
- iii) Sobredimensionamiento de diseño
- iv) Expansión por cambios tecnológicos

3. Justificación de las unidades nuevas

a) Justificación técnica del proceso de transformación

i) Condiciones iniciales:

- Insumos importados
- Insumos nacionales disponibles en el mercado
- Insumos nacionales cuya producción se desarrollará
- Factores restrictivos o condicionantes

ii) Inventario crítico de los procesos existentes

iii) Criterios de selección de alternativas y orden de su aplicación

iv) Análisis de la escala de producción

b) Justificación de las instalaciones, equipos y personal

i) Del proceso de transformación

ii) De los sistemas complementarios

c) Capacidad de expansión de las instalaciones

d) Justificación del proceso en relación con el tamaño y la localización

c. Localización

1. Descripción

a) Microlocalización

b) Integración en el medio

i) Condiciones naturales, geográficas y físicas

ii) Economías externas

iii) Condiciones institucionales

c) Ordenamiento espacial interno

i) Dimensiones y características técnicas del terreno

ii) Distribución de las instalaciones en el terreno

iii) Flujograma espacial

2. Calificación y/o justificación

a) Con relación al medio

i) Razones de geografía física

ii) Economías y deseconomías externas

iii) Razones institucionales

b) Con relación a las características del terreno

i) Del proceso productivo

ii) Del programa de expansión

c) Distancias y costos de transporte

i) De los insumos

ii) De los productos

d) Posibilidades de conexión de las unidades nuevas y con las existentes

i) En la solución de los problemas actuales de localización

ii) En la expansión de las instalaciones actuales

e) Justificación de la localización en relación con el tamaño y el proceso

ESTUDIO COMPLEMENTARIO

d. Obras físicas

a) Inventario

i) Relación y especificación de las obras que se realizarán

- ii) Clasificación funcional y características específicas de las obras
- b) *Dimensiones de las obras*
 - i) Exigencias en terrenos
 - ii) Dimensiones materiales y físicas
- c) *Requisitos de las obras*
 - i) Materiales
 - ii) Mano de obra
 - iii) Equipos, maquinarias, herramientas e instalaciones para construcción
- d) *Problemas específicos*
 - i) Resultantes de condiciones geográficas y físicas
 - ii) Resultantes de problemas institucionales
- e) *Costos*
 - i) Costos unitarios de los elementos de obra
 - ii) Costos totales de las obras
- E. *Organización*
 - a) *Organización para la ejecución*
 - i) Entidades ejecutoras
 - ii) Tipos de contratos de ejecución
 - iii) Administración y control de la ejecución
 - b) *Organización para la operación*
 - i) Establecimiento progresivo de la organización
 - ii) Planteamiento de la organización jurídico-administrativo
 - iii) Planteamiento de la organización técnico-funcional
 - iv) Planteamiento del sistema de control
 - v) Organigrama general
- F. *Calendario*
 - a) *Conclusión del proyecto*
 - i) Revisión del anteproyecto
 - ii) Contactos finales con proveedores
 - iii) Diseño definitivo y de detalles
 - b) *Negociación del proyecto*
 - i) Consecución del financiamiento
 - ii) Obtención de autorizaciones legales
 - iii) Contratación de firmas ejecutoras
 - c) *Ejecución del proyecto*
 - i) Construcción de obras físicas
 - ii) Adquisición de maquinarias y equipos y/o su fabricación y entrega

- iii] Montaje de maquinarias y equipos
- iv] Contratación y capacitación del personal
- v] Organización e instalación de la empresa
- d] *Operación del proyecto*
 - i] Plazo para operación experimental y puesta en marcha
 - ii] Período para llegar a la operación normal prevista

ANÁLISIS DE COSTOS

- a] *Costo total de la inversión física*
 - i] De la construcción de obras físicas
 - ii] De equipos y máquinas
 - iii] De existencias
- b] *Costo total de la operación*
 - i] De la mano de obra
 - ii] De los materiales
 - iii] De los servicios
 - iv] Depreciación
- c] *Costos unitarios*
 - i] Costos unitarios básicos y su estructura
 - ii] Costos unitarios mínimos y su comparación con los de otras alternativas analizadas en el estudio técnico
 - iii] Clasificación de los rubros de costo en fijos y variables

IV. ESTUDIO FINANCIERO

- a] *Recursos financieros para la inversión*
 - i] Necesidades totales de capital
 - Para cubrir la inversión fija
 - Para cubrir las necesidades de capital de giro
 - Calendario de las inversiones
 - ii] Capital disponible
 - Capital realizado a corto plazo
 - Capital realizado a plazos mediano y largo
 - Aportes en bienes intangibles
 - iii] Capacidad de inversión de la empresa
- b] *Análisis y proyecciones financieras*
 - i] Proyección de los gastos
 - Gastos de inversión
 - Gastos de operación

- Gastos totales por año
- ii) Proyección de los ingresos
 - Ingresos de capital
 - Ingresos de operación y otros
 - Ingresos totales por año
- iii) Financiamiento adicional
- iv) Punto de nivelación
- c) *Programa de financiamiento*
 - i) Estructura y fuentes de financiamiento
 - Orígenes del financiamiento
 - Distribución en el tiempo
 - Formación del capital propio
 - Modalidades de crédito
 - ii) Cuadro de fuentes y usos de fondos
 - Origen y cronología de recaudación de los fondos
 - Uso de los fondos y su cronología
 - Cronología de las disponibilidades
 - Políticas financieras alternativas
- d) *Evaluación financiera*
 - i) Tasa interna de retorno
 - ii) Valor neto actualizado de los ingresos
 - iii) Relaciones financieras básicas
 - iv) Conclusiones del estudio financiero

V. EVALUACIÓN ECONÓMICA

- a) *El sistema económico como marco actual del proyecto*
 - i) Indicadores básicos generales
 - En la economía como un todo
 - En el sector del proyecto
 - En el área económica interesada por el proyecto (a nivel del producto interno, ingreso por habitante; monto de exportaciones e importaciones; coeficiente de inversión; y otros índices macroeconómicos).
 - ii) Naturaleza y ritmo del desarrollo de la economía
 - Evolución histórica:
 - Población
 - Ocupación
 - Producción
 - Productividad

Exportación

Importación

Cambios estructurales:

En la composición sectorial

De la ocupación

Del producto interno

De la productividad

En la participación del sector público

En el coeficiente inversión-producto

En la distribución de la inversión:

Por tipos de bienes

Entre los sectores público y privado

En las estructuras de la exportación y de la importación, sus destinos y orígenes

Aspectos sociales:

Principales variables demográficas

Consumo

Nutrición

Salud

Educación

Vivienda y organización espacial y de la comunidad

Relaciones con el exterior

Intercambio y saldos del comercio exterior

Variación de las relaciones de intercambio

Poder de compra de las exportaciones

Desequilibrio y financiamiento externo y sus modalidades

Servicios de amortización e intereses del capital extranjero

Acumulación de la inversión directa extranjera y su incidencia en la formación de capital

b) Factores condicionantes del sistema sobre el cálculo económico del proyecto

i) Cálculo económico del proyecto en sí

Inversiones y su costo

Costos e ingresos de operación

Actualización de ingresos y gastos

Rentabilidad del proyecto:

Valor neto actualizado

Tasa interna de retorno

- Relación beneficio-costo
- Análisis de sensibilidad económica
- ii) El proyecto en el cálculo económico de la empresa¹
 - El aporte del proyecto a la empresa
 - El costo del proyecto como costo adicional de la empresa
 - La rentabilidad marginal del proyecto
- iii) Calificación y cuantificación de los factores condicionantes
 - Por características del mercado
 - La utilización de precios de cuenta del capital, de la mano de obra y de las divisas
 - Origen e hipótesis básicas de los precios de cuenta
 - Por disponibilidad limitada de recursos financieros
 - Por disponibilidad limitada de divisas
 - Por disponibilidad limitada de insumos físicos
 - Por limitaciones técnicas
 - Por limitaciones derivadas de la planificación
 - Por limitaciones institucionales
- iv) Factores condicionantes no superables
- v) Propositiones de política económica para ajustar al proyecto determinados factores condicionantes
- c) *Evaluación de los efectos del proyecto sobre variables del sistema económico*
 - i) Efectos del proyecto como inversión
 - Sobre la capacidad de producción del sistema
 - Sobre el balance de pagos
 - Sobre el empleo de mano de obra
 - Sobre la utilización de otros factores de producción
 - Sobre el mercado de capitales y los mecanismos financieros
 - Sobre la estructura de la inversión
 - Sobre las economías externas de otras empresas
 - Sobre el nivel tecnológico
 - Sobre el desarrollo regional y el ambiente humano
 - ii) Efectos del proyecto como programa de producción
 - Sobre el ingreso
 - Sobre el balance de pagos
 - Sobre el empleo de mano de obra
 - Sobre la utilización de otros factores de producción

¹ Se aplica principalmente a proyectos de empresas existentes (ampliaciones, nuevas inversiones, etc.).

REFERENCIAS

SISTEMAS Y ANALISIS DE SISTEMAS:

- Walter BUCKLEY (editor); Modern Systems Research for the Behavioral Scientist; Aldine Publishing Company, Chicago 1968.
- Roland N. MCKEAN; Efficiency in Government Through Systems Analysis; John Wiley & Sons, Inc., Nueva York 1958.
- Richard de NEUFVILLE y Joseph H. STAFFORD; Systems Analysis for Engineers and Managers; McGraw-Hill Book Company, Nueva York 1971.
- Richard de NEUFVILLE y David MARKS (editores); Systems Planning and Design; Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 1974.
- C. West CHURCHMAN; The Systems Approach; Dell Publishing Company, Inc.; Nueva York 1968.
- C. West CHURCHMAN; The Design of Inquiring Systems; Basic Books, Inc., Nueva York 1971.
- Ludwig VON BERTALANFFY; General System Theory; George Braziller, Inc.; Nueva York 1968.
- Stanford L. OPTNER (editor); Systems Analysis; Penguin Books Ltd; Harmondsworth 1973.
- F.E. EMERY (editor); Systems Thinking; Penguin Books Ltd.; Harmondsworth 1969.
- Víctor GERER y Manuel GRIJALVA; El Enfoque de Sistemas; Editorial Limusa, S.A.; México D.F. 1976.

ANALISIS DE INVERSIONES:

- Michael BROMWICH; The Economics of Capital Budgeting; Penguin Books Ltd., Harmondsworth, Middlesex, Inglaterra 1976.
- E.J. MISHAN; Cost-Benefit Analysis; George Allen & Unwin Ltd., (2a. edición), Londres, 1975.
- William H. JEAN; Capital Budgeting: The economic Evaluation of Investment Projects; International Textbook Company; Scranton 1969.
- Gerald A. FLEISCHER; Capital Allocation Theory: The Study of Investment Decisions; Appleton-Century-Crofts; Nueva York 1969.
- Harold BIERMAN, Jr. y Seymour SMIDI; The Capital Budgeting Decision (4a. edición); Macmillan Publishing Co., Inc.; Nueva York 1975.

- Donald E. Farrar y John R. MEYER; Managerial Economics; Prentice-Hall, Inc.; Englewood Cliffs, N.J., 1970.
- Pierre MASSE ; Optimal Investment Decisions; Prentice-Hall, Inc.; Englewood Cliffs, N.J. 1962.
- Eugene L. GRANT y N. Grant IRESON; Principles of Engineering Economy; The Ronald Press Company; Nueva York 1970 (5a. edición).
- José I. LOPEZ LEAUTAUD; Evaluación Económica; Libros McGraw-Hill; México, D.F., 1975.

MANUALES SOBRE EVALUACION DE PROYECTOS:

- Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social (ILPES); Guía para la Presentación de Proyectos (3a. edición); Siglo veintiuno editores S.A.; México, D.F. 1975.
- John A. KING Jr.; La evaluación de proyectos de desarrollo económico Publicado para el Banco Mundial por Editorial Tecna; Madrid 1970.
- Comisión Económica Para América Latina (CEPAL); Manual de Proyectos de Desarrollo Económico; Publicación de las Naciones Unidas (n.º de venta 58.II.6.5); México, D.F. 1958.
- Partha DASGUPTA, Amartya SEN y Stephen MARGLIN; Guideline for Project Evaluation; Publicación de las Naciones Unidas (No. de venta E.72.II.8.11); Nueva York 1972.
- Development Centre of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD); Manual of Industrial Project Analysis in Developing Countries, volumen I Methodology and Case studies (edición revisada); OECD Publications; Bélgica 1972.
- Ian M.D. LITTLE y James A. MIRRELES; Manual of Industrial Project Analysis volumen II Social cost Benefit Analysis; OECD Publications; Bélgica 1968.
(OECD Publications Center, Suite 1207, 1750 Pennsylvania Ave., N.W. Washington, D.C. 20006, EUA).

**PUBLIC EXPENDITURES
AND POLICY ANALYSIS**

Edited by

ROBERT H. HAVEMAN

Grinnell College

and

JULIUS MARGOLIS

Fels Institute

University of Pennsylvania

**a MARKHAM book from
Rand McNally College Publishing Company
Chicago**

PROBLEMS OF RESOURCE ALLOCATION IN HEALTH

Robert N. Grosse

INTRODUCTION

At this stage of our knowledge about how to improve resource allocations within the field of health, it is much easier to discuss problems than to point out solutions.

Approaches to better resource allocation decisions require insight into who participates in the allocating process, what the resources are, the groups to which we allocate and the accomplishments of differing allocations.

Allocations take place in the "market"—either the conventional one of money bidding for goods and services, or that of political forces and coalitions, or most usually some combination of the two. Rather than address the awesome challenge of explaining how resources are allocated throughout the entire health area—I would like to narrow my comments to problems of resource allocation on the part of a governmental or quasi-public agency which has control over allocating some of the resources at stake. Such agencies function within economic and political marketplaces, and must take the existing operations of these markets into account, but they may also be concerned with improving the allocation process itself.

In particular, this paper discusses some of the informational requirements involved in improving the allocation process, and describes approaches taken by analysts in the Department of Health, Education, and Welfare to develop information, analyses, and a planning system.

Resource allocation decisions usually appear as allocations among "programs," but that is probably too neutral a term to convey much meaning.

Clearly, we allocate among organizations. Governmental budget and legislative decisions do this, and voluntary groups such as community chests and welfare federations do. We allocate among institutions—hospitals,

Robert N. Grosse is Professor of Health Planning at The School of Public Health of the University of Michigan.

tals, medical schools, research institutions, nursing homes, neighborhood centers, third party insurers.

We also allocate among beneficiary or target populations such as Indians, Negroes, whites, the poor, the middle class, the retarded, veterans, etc.

We allocate among professions—or between professionals and target populations, so much to psychiatrists, to other physicians, to nurses, to social workers, to professors, and to the individuals requiring the services of these different professional groups.

We allocate among locations—central city versus suburban versus rural, North as against South, Texas as against Massachusetts.

We also allocate over time, investing in building hospitals and nursing homes, training nurses and doctors, and biomedical research and development, as opposed to purchasing current services.

In another sense of time, we allocate among generations—such as children, working age, aged.

We also allocate among health problems such as diseases: tuberculosis, syphilis, mental illness, cancer, etc.; among approaches to disease control: research, prevention, and treatment; between approaches: categorical versus comprehensive programs.

Although I have touched on only a few examples, even thinking about targets for allocation introduces complexities. Learning how we have been allocating is hard, and deciding what to do may seem impossible. It is easier to select one facet, such as multiple sclerosis, underfed children in Texas, or cancer care, and develop tactics to secure more money for it than to determine the economic and political strategies for solving allocation problems—who or what gets less when some get more.

What is it that's allocated? We usually think of money—and that's a meaningful and convenient measure, but we recognize that scarcity of resources in physical terms sometimes may be more constraining and thus more significant—number of physicians and their time, availability of facilities for the mentally retarded, transplantable organs, kidney dialysis units, and personnel. Among the things we are allocating may be life and death.

Nevertheless resources are allocated every day in any complex organization. But the problem which faces us is to make "better" allocation decisions. It seems reasonable that a better understanding and measurement of the costs (what is given up) and the effects (what is accomplished) of various possible courses of action will improve allocation decisions. The search for a clearer identification of what we are really trying to accomplish and how we are going about it has led to more

systematic thinking about objectives and classification, information and analysis systems.

These ideas—few of them novel—are surfacing as aids in resource allocation decisions at a time when the health planning field itself is under great stimulation. This stimulation is being caused by increasing interest in health services on the part of the American people, evidenced by the growth of personal and governmental health expenditures, increasing concern over mounting costs and prices, and moves on the part of the federal government to require and support planning and decisionmaking at state, regional, area, and community levels.¹ Some hope that planning can work may also come from the assumption that the systematic techniques of systems engineering, operations research, cost-effectiveness analysis, and program budgeting make the task more feasible.

How do we proceed to better understanding? The first step would be to structure the significant elements of our health system. There are many approaches to this—let me discuss one that has been meaningful to me.

We start with identifying problems—health situations which need improvement and where intervention or change may be useful. This involves an assessment of our population and its subsets in terms of health status and access to health services. It also involves examining environmental hazards and social forces which threaten to affect adversely the normal development or health of our people.

Second, what are the current and potential activities that are or might be addressed to these problems—and we need to know not just the what of them, but also the who and the how—who manages and carries them out, with what instrumentalities, how are they organized, and who benefits? These include the delivery of personal health services, environmental control, consumer education, and programs to affect social factors related to mental health.

Third, we need to know what stock of assets are needed for health activities—knowledge, technology, manpower, and facilities. What do we have, how are these stocks added to, and how are they organized into desired activities?

In addition, we need to understand how resources are or could be financed, the effects of various financing mechanisms, and the barriers between consumers and services—financial and social.

We need evaluations to understand what programs accomplish—how the delivery of services affects health; how environmental control programs affect the ambient world; and at what costs?

All of these form a system of interdependencies or interrelationships. For example, through the political and budgetary process resources are

allocated which, in turn, provide services or goods that benefit certain sectors or groups in our country. The process, furthermore, appears to be somewhat circular in that we have what students of cybernetics would call a "feedback" effect. One of our problems in resource allocation is that we are never sure whether the feedback will be positive or negative. Will the beneficiaries of a policy alternative feel that they are actually getting benefits? I suppose that in Los Angeles if we were able to implement a program which would suddenly get rid of smog, most citizens would be quite pleased and we would expect to get a positive feedback to continue or increase our program. On the other hand, many health programs are not so visible, or it may take several generations for us to be able to discern their impact (for example, biomedical research activities).

Finally, we also need to understand the political environment in which we work.² We must be able not only to identify where it makes sense to intervene, i.e., where political and economic costs can be minimized, but also to appreciate the broader policy concerns which set the context for our activities.

Analysis of major policy areas like health is not just a mechanical exercise of mathematics; we have to consider qualitative factors as well which may affect the outcome of our studies. Indeed, sometimes this is all we have to work with. Knowing the number of beds in a hospital or the beds' utilization rate is only a rough index of capacity and not a measure of the quality of care. Similarly, there are tradeoffs between health services and education for improving the communication flow between patient and doctor; such tradeoffs may actually involve value conflicts where we cannot measure the benefits of education and health in the same terms and in these situations the judgment of political decisionmakers is required to resolve the conflict.

Now I would like to be more explicit and give some content to terms like better resource allocation.

Improving the allocation of health resources does not necessarily mean saving money or cutting budgets. In fact, in order to make improvements sometimes we have to spend more. What is meant is getting more out of the resources such as money, time, doctors, drugs, nurses, etc., which are involved in health activities. As we are all aware, the country needs more physician and nursing services. But our problem is not just how much more; we are also concerned with the distribution of these scarce resources. We want to find ways to increase the productivity of the doctor, but we also want to make sure that all segments of our nation are able to receive medical care when they require it. Thus, when we talk about improving or maximizing the use of our scarce health resources, we can mean many

things and what we mean exactly is a function of the analysis or problem under consideration.

Actually the annual cycle of the budget process establishes the context of resources allocation decisions in the public sector. We often talk about the budget as a plan. When we make budget decisions we are setting priorities for the attainment of various goals either by adding, cutting back, or modifying programs. There is some truth to the saying that budget decisions are program decisions. But the saying is also misleading because the relation of the budget to current and future programs is frequently obscure and uncertain. The budgetary categories are frequently either administrative organizations such as government bureaus or resource inputs such as construction or personnel. To determine the "program" for alleviating mental retardation, for example, one must analyze in some depth the programs of a score of bureaus in several different agencies. Further, most often neither the impact on future years beyond those for which we are budgeting, nor the program objectives within whose context the budget has been formed are made explicit. Somehow we must attempt to reduce the uncertainty of dealing with the future; we have to plan even if most plans have to be continually revised.

To talk about uncertainty reduction is relatively easy but to do something about it is quite different. Health is a rapidly changing policy area. The technology of delivering medical services, the list of our health priorities and goals, and even the definition of what we mean by health—all are in flux. But the fact of a dynamic social and physical environment argues for more knowledge, for more analysis and understanding. For example, we have to know how well we have been doing with our current programs. In a complex organization, it is not unusual not even to be aware of just what these programs are, let alone to have some technique for evaluating them. Most studies of actual decisionmaking find that the problem solver starts looking for alternatives somewhere around the neighborhood of the present alternative. It is not just that planners or problem solvers are myopic; we also have our own resource problems. There are costs of getting additional information and there is also a scarcity of trained analysts. But in spite of these limitations, one of the signal contributions of planning and analysis is to extend the range of search, to seek out and develop new, imaginative, and hopefully better, alternatives.

This we attempt to do by developing a "model" or a framework to analyze the particular health system or subsystem. Such a model explicitly takes into account the same informational needs which I have mentioned. It abstracts the relevant features of the various institutions that are germane to the particular health problem which we are examining. This process of system definition sets the stage for our work by limiting the

problem to which we pay attention. We have to delimit or arbitrarily set boundaries around the problem. Thus, one aspect of system definition or model construction is to define boundaries. Another aspect of system definition is to develop some understanding of the relationships which exist among the elements of the system. To do this we have to find out not only that a particular health agency exists, but also what aspects of it are related to the other variables in our analysis. The notion of interdependencies and the ability to specify functional relations is what we mean when we talk about a system.

Although in making resource allocations we may find it an analytical convenience to talk as if there is such an animal as a health system, in fact, the system that we know about is fragmented. We tend to be analyzers rather than synthesizers. This is the result of the fact that we, as health planners, are usually concerned with specific agencies of more or less specified jurisdictions. No single agency, public or private, makes authoritative resource allocations for the totality of the nation's health. Thus, there are many actors who provide inputs into the nation's health decision process.

It would be a misperception to view analytical tools such as cost-effectiveness studies or planning activities such as program-budgeting as centralizing decisionmaking or compelling the creation of the health system *qua* system. What these tools are and what they are used for is very much a function of the particular organizational context in which they are set. The point is that making resource allocations for the total field of health is not an appropriate description of what analysts do. We are always involved with some chunk or aspect of health as pollution, or the problem of the aging, and with the particular organizations which deal with each problem.

In addition to the fact that many agencies are involved in the field of health, we also cannot expect any single agency head to make all its decisions on everything, for every budgetary cycle. Even if you assume that a particular agency functions like a pyramid with a single policy or decisionmaker at the top (which most agencies do not, in practice), this "omniscient" individual cannot possibly have the time nor capacity to look at everything. The planning staff has to be selective. And one interesting problem is just what criteria they will use in making their selections. Obviously the planner could ask the decisionmaker but sometimes the latter may not know what he wants. Or, if he does, then this just shifts the problem to finding out the selection criteria of the decisionmaker. One could anticipate that the decisionmaker might want to be able to make choices on the highly "visible" programs of the agency. An index of visibility may be a high dollar commitment or high resource type program.

Or the program may be low in the resources assigned to it but still be

very politically visible because of the existence of a small and active constituency or clientele. Another likely criteria would be to present choices concerned with omissions or gaps in the health system. Where are the areas of policy in which the particular health agency ought to be involved? This is not particularly simple to answer in any comprehensive fashion. But when a significant area appears to a planner to have been overlooked, there is a high probability that he will select the area for further attention. In addition to feasibility and omissions, the policy preference of the planner, himself, undoubtedly influences his criteria of selection.

In other words, the line between analyst and decisionmaker is somewhat blurred. The planner or analyst is involved in what Herbert Simon once called uncertainty absorption. He structures the decisions or choice situation by selecting certain problems and alternatives, and planners and users of planning output ought to be aware of this. Because we do have so many people involved in the health field, because we do have to cut our information and time costs, because no single decisionmaker even attempts to consider everything, and because planners themselves tend to also be selective, I sometimes think "comprehensive health planning" may be a contradiction in terms.

The use of planning and analytical tools, however, does make a great deal of sense when we view it within its organizational context. Therefore, it would be useful to discuss how program budgeting interacts with the use of tools like cost-benefit or cost-effectiveness analysis to improve the quality of organizational decisionmaking or resource allocation.

Program budgeting is one management tool which assists in health planning. It has two central features: (1) A framework designed to show the resource allocations which are made to problems, beneficiary groups, organizations; what activities and resource developments are being funded; and what results are anticipated from each; and (2) a multiyear program designed to reflect in these same terms what we are moving toward in the future.

A major aspect of the program budget is the structuring of the health system—of the part which the organization engaged in planning affects. And it should be set in such a fashion that it relates to the broader health system.

The program budget I have described has a structure too complex (in that it has numerous dimensions) to be laid out as a simple laundry list. It is a management information system which can be called upon to tell us what we are doing in each area of interest.

If an area of interest is one of disease control, we must be able to pull together all of the principal actions directed against the particular problem

from state and regional programs, from projects, from research and training.

If we are interested in a target population, we must be able to pull programs affecting that population out from programs which may be aimed at disease control, financing of services, comprehensive care, and environmental protection.

When we have this capability, we have a framework for better planning. What is then *best* to do will not spring forth as did Athena from the head of Zeus. If all the programs could be related to a single dimensional output on whose virtues and validity we could all agree, the problem of allocating resources would be much simplified. But we know this is not so. Outputs of health programs have numerous dimensions—changes in morbidity, mortality, disability, services, contamination, etc., and these outputs apply to different components of our people.

For this reason, cost-effectiveness analyses cannot tell us the preferred mix of programs to be included in our program budget. Rather, the analyses are aimed at one or another set of problems—air pollution, kidney disease, child health, delivery of services to the poor. They explore the costs and accomplishment of alternative approaches to these narrower problems.

When we have information on costs and benefits we can not only indicate the preferred alternative for each problem, but also have some additional information by which to improve the total allocation. This addition is simply more insight into what we get for what we pay out.

The program budget is a means of noting what we are doing in an organized fashion—with emphasis on objectives and accomplishments—rather than on the organization or line item inputs of conventional budgets. It may serve to give better insight into what we are doing, give us inspiration for useful change, and form a record for program decisions. It is neither a planning process nor a means of discovering better plans. Rather, its categories should serve as useful organization and communication devices for program decision.

The actual process of planning—the ingredients to be reflected in the program budget—are the analyses and the priority decisions. By analyses I refer to work addressed to designing and evaluating strategies for the solution of problems. Generally, analyses would be conducted in the framework of cost-effectiveness comparisons of alternatives, but in many cases the formal approaches are unsuitable, although use of analytical perspectives is helpful.

Formal measurement of costs and outputs may be of little help in cases where we are trying to select preferred methods of affecting the behavior of institutions; for example, hospital behavior, formation of group practices, or consumer education. We may have a measurable idea that

certain behavior would make things better: i.e., resources better utilized, more people taken care of. Our preferred program is to figure what mix of incentives and regulations may induce the desired behavior. While in concept we may believe or hope that the desired effects are thus produced at minimum cost, our program's effects and measures are obscure. For example, if we want hospitals to become community oriented, or to work with other facilities, we may argue and even prove how this would happen, but what we pay them to do is to become concerned—to move in certain directions. How much it costs society and what will happen depends on what institutions respond, how they perceive themselves and their community, etc.

For example, with regard to air pollution, we can study program alternatives which reduce contaminants at minimum cost within an airshed, paying attention to location of emitters, meteorological conditions, and end-stage costs, etc. But the government program is designed to move in this direction by providing incentives or penalties. We are rarely certain of the response.

When we have made our analyses, we have more confidence that we have examined alternatives and investigated the relationship to objectives, that we have weighed the responses of society and the costs to society and to our own resources.

We can now begin the process of developing programs in each area of interest and forming mixes of these. But resources are scarce and we cannot buy all that we want. We must negotiate with other actors in the organization and in the broader social and political environment. Even though we may think we have identified a preferred economic solution, it may have to be modified in order to be implemented by the legislative and administrative process.

The program structure provides a cognitive map, a frame of reference to consider alternatives using cost-benefit analysis. Similarly when we have identified by analysis an alternative that we may have high expectations of being implemented, we will adjust the program structure to reflect this. Thus program budgeting and cost-benefit analysis interact. They are both different parts of the resource allocation process, but they are also intimately related. Problems of resource allocation are an intrinsic part of both of these activities.

The most recent and most comprehensive attempt to apply quantitative methods to the allocation of resources to health problems was introduced in the federal government under the title of the "Planning-Programming-Budgeting System." This approach was first generally used in government by the Department of Defense beginning in the spring of 1961.³ In August of 1965 the President ordered all principal agencies of

government to adopt similar systems. The new Secretary of Health, Education, and Welfare, John Gardner, took this charge seriously, creating a new office to develop and implement the system, that of the Assistant Secretary for Program Coordination (later called Planning and Evaluation).

While the broad goal of the PPB system was to improve decisionmaking, especially budgetary decisions, those concerned had different ideas as to what its specific objectives and procedures ought to be. Some were most concerned to develop better insights into program objectives so that the Secretary and his agency heads and program managers would better understand program interrelationships and complementarities. Others believed the most important step was the delineation of long-range needs and goals. The Bureau of the Budget was asking for detailed 5-year plans and analytical bases for all budget decisions.

Program administrators feared not only that the volume of paperwork would increase, but also that program decisions might be made on improper bases, i.e., on narrow economic or quantitative grounds, and by individuals lacking in an understanding of the programs and the issues at stake. Budget and executive officers in the various agencies saw a potential dilution of their responsibilities and authority.

After a period of experimentation in 1966, a system was developed at HEW which was used in calendar year 1967 as the basis for the fiscal year 1969 budget. It is this system and its problems which I will discuss in the remainder of this paper.

But first, it may be useful to outline some of the difficulties with the earlier budgetary system.

Historically, budgets tend to be formed "from the bottom up." The cycle commenced with a call for a preliminary budget from the Office of the Secretary with no guidelines as to scale or priorities. Agency heads, in turn, passed the call along to their bureaus, and the bureaus to their divisions, etc. It was usually assumed that existing budget levels were an inviolate base, not needing reexamination. The budget process focused on upward changes. The import of proposed legislation was not considered, but was channeled into a separate legislative proposal process, with little interaction between it and the formulation of the budget. The planning horizon was the budget year, with little longer range planning. Appropriation categories are, for the most part, coincident with administrative organizations, and little attention was paid to competing or complementary programs.

The general philosophy of program managers has been that the social problems their programs are addressing are so vast, and the resources allocated to these worthy objectives so miniscule, that their objective in the formation of budgets is the tactical one of increasing these resources. The

effects of programs have not been evaluated in systematic fashion, and alternatives to present approaches remain largely unexplored, especially in the context of budgeting for "existing legislation."

It was not surprising, then, to find that budget proposals usually took the form of asking for increases in almost every program. Bases for these increases were either the ability to grow and satisfy more social needs, or the growing demand for federal grants on the part of potential recipients. Workload increases, annualization of past midyear increases, and price rises also were considered.

Higher echelon reviews usually consisted of concern with whether the rates of growth were feasible and salable, whether the administrators of the programs were capable, and with giving visibility to commitments of the administration as evidenced by recent legislative programs. Questions about interactions or effectiveness of programs were infrequently asked, and more rarely answered. Attention was paid, of course, to congressional desires and the power of constituencies.

Despite its lack of quantitative analysis and long-range strategy, on a tactical level the system had worked quite well. Budgets had increased, doubling about every five years, and scores of new programs had been created by the Congress. But problems loomed on the horizon: the multiplicity of new programs threatened management understanding of what was going on, and it seemed unlikely that the rapid pace of budget increase would be sustained. Problems of imbalance in programs could no longer be resolved by expansion. Choices would have to be made.

Much hope was held by some in developing a system similar to that which appeared to work so well in the Department of Defense. Of course, skeptics were quick to point out that social programs dealt with people, not military equipment, and that quantitative analysis was irrelevant to problems so irrational as protecting and improving the health of the American people.

There were and are difficulties in transferring the Defense approaches, but the nature of the product was only one, and possibly not the most significant. In national security, the federal government has almost total responsibility, and controls most of the resources. In health, federal expenditures accounted for only 16 percent of the total outlays in 1966. Even of these, HEW doesn't operate many of its own programs. Most of the funds go out in the form of grants-in-aid to state and local governments, universities, school districts, hospitals, and nonprofit agencies. Of its fiscal year 1969 budget, 94 percent were in the form of such grants-in-aid. HEW itself operates the Indian Health Program, the Food and Drug Administration, and relatively small intramural research programs. So the problems to be analyzed are largely affected by funds other than federal and adminis-

tered by others as well. There are a multiplicity of factors: 7,000 hospitals, 3,000 counties, hundreds of universities, several hundred thousand medical doctors, 50 states, etc.

Compounding the confusion is the all too obvious fact that we know little about the cause and effect relationship in social areas. We don't know how federal programs influence the operating institutions, we don't know the effects of most health services on health status, or what forms of health delivery systems produce better results than others. We lack models, coefficients, and data.

The first step toward improving budgetary decisionmaking in a huge, complicated organization like HEW was to provide comprehensible information about the current allocation of resources and a mechanism for showing how future changes in programs would affect this allocation. As a start one should be able to answer such questions as: What share of the Department's resources is going into health programs? What share is directed toward improving the lives of the poor? What share is directed at assisting old people, and how many people are affected? What share of the Department's budget is devoted to research and is the share growing or declining?

None of these questions can be answered easily by looking at the conventional budget of the Department. Health programs appear in several different agencies. The Public Health Service, the Social and Rehabilitation Service, the Social Security Administration, the Food and Drug Administration, the Administration on Aging and the Office of Education all have significant health programs. Activities such as research and training are often buried in other programs. The groups affected by programs are not identified in a conventional budget; nor are measures of output or accomplishment (classrooms built, patients treated, students supported) readily available.

For these reasons the Department developed a new information system which serves both as a classification system and as a planning tool.⁴ Under this system an individual Department program is classified in a number of different ways—by objective, by the target group in the population at which it is directed, by type of financing (project grants, loans, etc.), by activities used in carrying out the program (construction, training, etc.). The result is a flexible information system which can be used to answer a great many questions quickly and easily and to give a clearer picture of how the Department's dollars are being used.

Along with the dollar information, measures of output of programs in nondollar terms are being developed. At present these outputs are largely limited to measures of initial impact of programs (square feet constructed, children enrolled, persons rehabilitated). Eventually we may be able to

provide measures of more ultimate benefits of programs (cases cured, students graduated, individuals rescued from poverty) which will aid in evaluating the effectiveness of programs in meeting their goals.

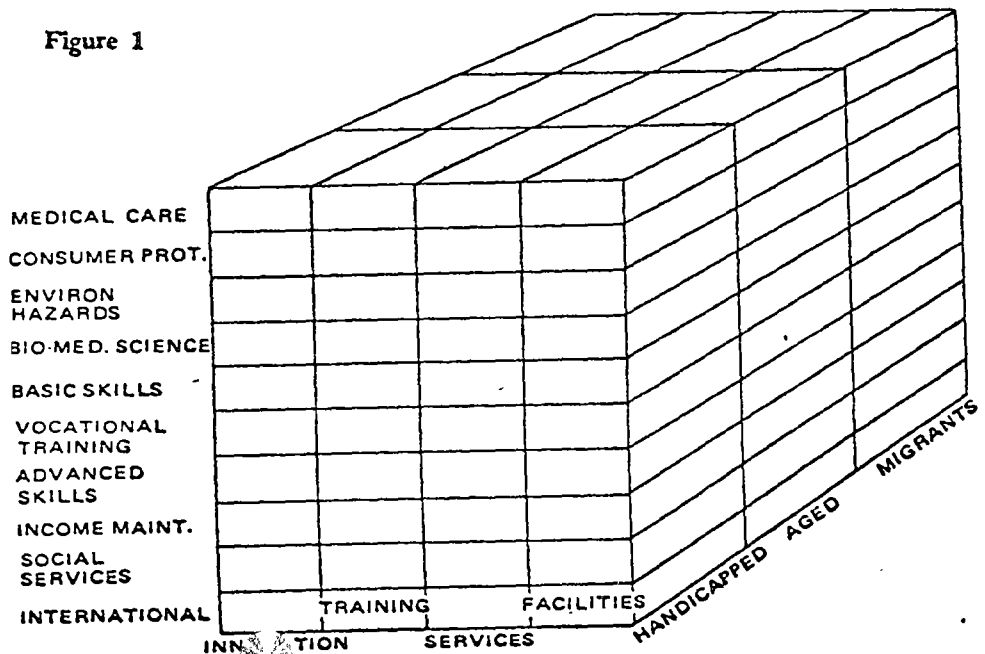
About each of the programs, then, there are a number of questions. What is it for? What does it accomplish? Who is being helped? How is it being carried out? How much does it cost? Who carries it out in the federal government and elsewhere? How is it funded? These questions lead to the development of a program information structure.

Figure 1 gives some insight into the way in which the structure arrays the programs. On the left-hand stub, are the names of possible program objectives or purposes such as the provision of medical care, consumer protection, development of basic skills, income maintenance, social services, and the like. To answer the question of how, programs are subdivided into activities, a sampling of these is listed, innovation, the training of personnel, the delivery of beneficial services, the construction of facilities. For each we are interested also in for whom are you doing it—the target population. So in this three-dimensional diagram we also look at what is being done, for example, for the handicapped, the aged, and migrants.

A particular program, say facilities for medical care of the handicapped, may appear simply as a cell in the structure. And its program manager asked, "I filled out these forms and all I see is I'm in a box and it doesn't help me to decide anything at all." He's probably right.

What we're interested in, of course, is building insight into what takes

Figure 1



place. We can add other activities to this cell which was concerned with building of facilities for the medical care of the handicapped and we can pick up the rest of the medical care activities for the handicapped and get some more understanding as to whether or not they are reasonably in balance for what we are trying to do. We can go further and pick up what we are doing in the area of medical care for the various target groups. Another way of looking at it is to ask the question of what are we doing for a particular target group in all programs.

Illustrated in Table I, for example, is a way program information can

Table I
Target Group: Children and Youth—Income Under \$5,000 (Age 0-21)

EDUCATION PROGRAMS	
<i>Improving the education of the disadvantaged</i>	
Educationally Deprived Children (ESEA Title I)	
National Teacher Corps	
Educational Opportunity Grants (HEA Title IV-A)	
Educational Talent Contracts (HEA Title IV-A)	
College Work Study Grants (HEA IV-C)	
Vocational Work Study Grants (HEA IV-C)	
HEALTH PROGRAMS	
<i>Health problem classification</i>	
Child Development	
Crippled Children	
School and Pre-School Children	
Maternity and Infant Care	
Maternal and Child Health	
Comprehensive Maternal and Child Care	
Early Case Finding and Treatment	
<i>General health care programs</i>	
Hospital Care	
Physicians	
Dental Services	
Nurse Services	
Home Health Services	
Out Patient	
SOCIAL SERVICES PROGRAMS	
<i>Individual and family services</i>	
Day Care	
Foster Care	
Other Child Welfare Services	
<i>Strengthening resources and organization of social services institutions</i>	
Juvenile Delinquency	
INCOME MAINTENANCE PROGRAMS	
<i>Other individual and family support</i>	
Aid to Families with Dependent Children	

be classified. For a target group—children and youth of low-income families—we can identify these programs—the educational programs, the specific health programs which are aimed at children with respect to child development, crippled children, early case finding and treatment, various social services and money payments, as well. We can begin to look at programs from the point of view of the recipients of the benefits of these programs.

If the first step toward rational decisionmaking is a good information system, the second is a strong capability for analyzing the consequences of alternative courses of action. In the past 2 years HEW has undertaken a series of analytical studies of existing health programs and possible alternatives.

One of the first analytical studies of the PPB era at HEW was a study of disease control programs.⁵ Considerable work had been done during the last ten years in estimating the economic costs of particular diseases. Among the best known of these are Rashi Fein's *Economics of Mental Illness*,⁶ Burton Weisbrod's *Economics of Public Health*⁷ in which he estimated the costs of cancer, tuberculosis, and poliomyelitis, Herbert Klarman's paper on syphilis control programs,⁸ and Dorothy Rice's studies covering the international classification of diseases.⁹ A generation earlier Dublin and Lotka's classic explored the impact of disease and disability and their relation to changes in earning power.¹⁰ The economic implications of disability were, of course, a matter of central interest in the area of workmen's compensation insurance.¹¹ It was not surprising, then, that when systematic quantitative analysis of government programs and policies began to spread from defense to civilian applications, one of the first analytical studies was a study of disease control programs.

The basic concept of the study was a simple one. HEW supports (or could support) a number of categorical disease control programs, whose objectives are to save lives or to prevent disability by controlling specific diseases. The study was an attempt to answer the question: If additional money were to be allocated to disease control programs, which programs would show the highest payoff in terms of lives saved and disability prevented per dollar spent? The study defines "disease" liberally. Motor vehicle accidents were included along with tuberculosis, syphilis, cancer, and arthritis.

I'm talking here not about research, but where a technology exists and the problem is whether to put the same, more, or less federal funds behind these control programs to support activities in hospitals, states, and communities. The question we address is where should we allocate the resources available for this purpose.

Table 2 illustrates the approach to one set of diseases, cancer. We

Table 2
Cancer Control Program: 1968-72

	Uterine-cervix	Breast	Head and neck	Colon-rectum
Grant costs (in thousands)	\$97,750	\$17,750	\$13,250	\$13,300
Number of examinations (in thousands)	9,363	2,280	609	662
Cost per examination	\$10.44	\$7.79	\$21.76	\$20.10
Examinations per case found	87.50	167.30	620.20	496.00
Cancer cases found	107,045	13,628	982	1,334
Cost per case found	\$913	\$1,302	\$13,493	\$9,970
Cancer deaths averted	44,084	2,936	303	288
Cost per death averted	\$2,217	\$6,046	\$43,729	\$46,181

looked at cancer of the uterine cervix, breast, head and neck and colon-rectum. We estimated cost per examination, and the probable number of examinations that would be required for each case found. From this was derived the number of cases that would be found for an expenditure level, and estimates of the cost per case found. An estimate was made of the number of deaths that could be averted by the treatment following the detection of the cancers and then we calculated the cost per death averted which ranged from about \$2,200 in the case of cervical cancer up to \$40,000 to \$45,000 in the case of head and neck and colon-rectum cancer.

On the vertical axis of Figure 2 we have plotted the program costs; this includes the cost of the treatment in addition to the federal detection program. On the horizontal axis estimates of deaths averted are ordered by increase in cost per death averted in each program. Segments of the curve identified to each disease cover the extent of the program which it was estimated could be mounted in the years 1968-72 before running into sharply increasing costs. In concept, the cervical cancer curve is cut off where costs become higher than the breast cancer program, etc. From this analysis one might say that if there is only available \$50 million, cervical cancer should get all the funds. If we have \$115 million, then breast cancer control programs look quite competitive. Head and neck and colon-rectum cancer detection program as major control programs did not look attractive when viewed in this context. The analysts recommended that they concentrate on research and development.

The same kind of analysis was performed for each of the five programs studied (Figure 3). There seemed to be a very high potential payoff for certain educational programs in motor vehicle injury prevention trying to persuade people to use seatbelts, not to walk in front of a car, and so on.

Figure 2

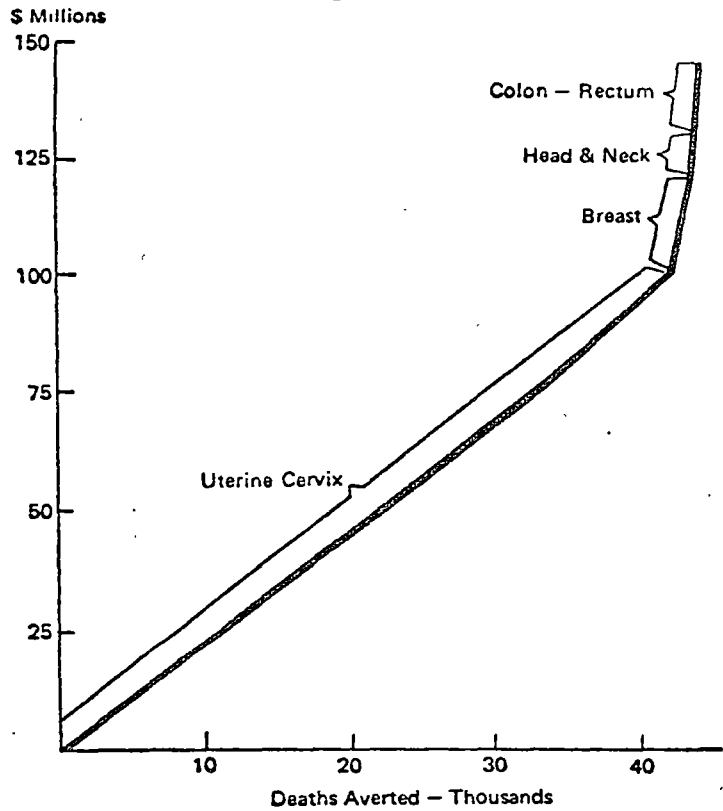


Figure 3

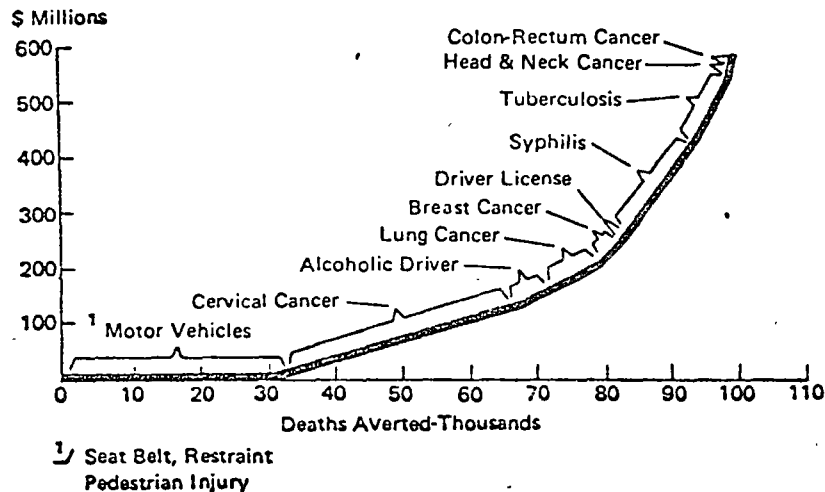
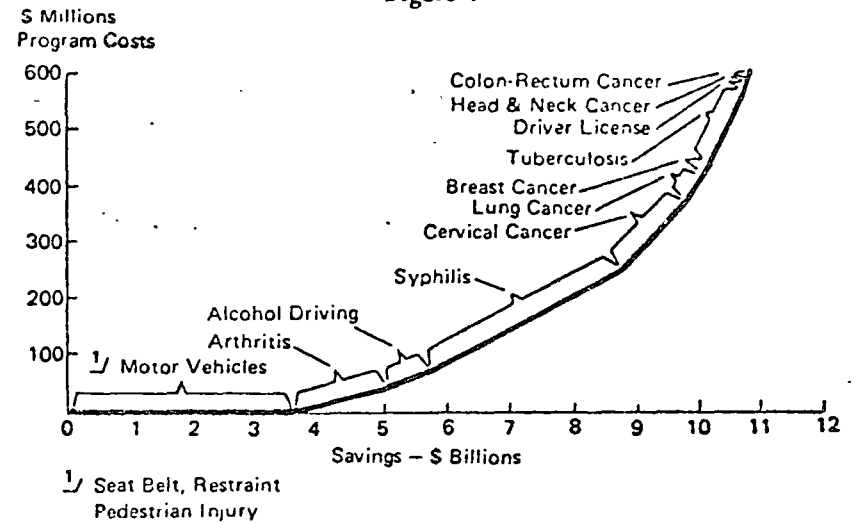


Figure 4



And then as we move up this curve, again ordered by cost of averting death we begin adding the others. This particular criterion, deaths averted, was not completely satisfactory. The number of fatalities attributed to arthritis were negligible. Secondly, there is the question, did it matter who died? Did it matter whether it was a 30-year-old mother or a 40-year-old father of a family or a 75-year-old grandfather? In Figure 4, dollar savings summing avoided medical treatments and a crude estimate of the average (discounted) lifetime earnings saved are plotted as a variable in place of deaths averted. There are two changes in results: cervical cancer and syphilis control programs change places in priority order, and we are able to introduce the arthritis program.

Allocations of resources to programs are developed from such analyses by using information such as this and the preceding charts as an additional insight to give an additional feel for what were relatively high-priority and what were relatively low-priority programs, and then to feed these insights into the decisionmaking process which also considers existing commitments, the political situation, feasible changes in the rates of spending, the ability to get people moving on programs, and so on.

These studies were not greeted with universal acclaim. Criticisms focused on a number of problems. First, with almost no exception the conclusions were based on average relationships. That is, the total benefits were divided by the total costs. There was little evidence of what the actual impact of increasing or decreasing programs by small amounts might be. If we actually believed the average ratios to be valid at the margin ought we

not put all our funds into the program with the highest benefit-cost or deaths averted per dollar ratios?

Let me illustrate with a hypothetical example how such marginal information might be used to determine the preferred mix of disease control programs. Assume that we can determine, as in the following tables, the number of lives saved by different expenditures on disease A and disease B:

Disease A		Disease B	
Expenditures	Lives saved	Expenditures	Lives saved
\$500,000	360	\$500,000	200
\$1,000,000	465	\$1,000,000	270

If we only knew the effect of spending \$1 million, we might opt for a program where all our money was spent on controlling disease A, as we could save 465 lives instead of 270 if we spent it all on disease B. Similarly, if we only knew the effects of programs of a half million dollars, we would probably prefer A, as we'd save 360 rather than only 200 lives.

But if we knew the results for expenditures of both half a million and 1 million dollars in each program, we would quickly see that spending half our money in each program was better than putting it all in one assuming we have \$1 million available:

Our calculations would be:

Expenditures	Lives saved
\$1,000,000 on A	465
\$1,000,000 on B	270
\$1,000,000 \$500,000 on A	360
\$500,000 on B	200
	560

But suppose we had still more discrete data, as in the following tables which give us the effect of each hundred thousand dollars spent on each control program:

Disease A		Disease B	
Expenditures	Lives saved	Expenditures	Lives saved
\$100,000	100	\$100,000	50
\$200,000	180	\$200,000	50
\$300,000	250	\$300,000	135
\$400,000	310	\$400,000	170
\$500,000	360	\$500,000	200
\$600,000	400	\$600,000	225
\$700,000	430	\$700,000	240
\$800,000	450	\$800,000	255
\$900,000	460	\$900,000	265
\$1,000,000	465	\$1,000,000	270

We could then spend the million dollars even more effectively:

Expenditures	Lives saved
\$600,000 on A	400
\$400,000 on B	170
<u>\$1,000,000</u>	<u>570</u>

The lack of marginal data resulted from both a lack of such data for most programs, together with a lack of economic sophistication on the part of the Public Health Service analysts who performed the studies. Despite the theoretical shortcomings, the results were useful when applied with some common sense.

Practical obstacles of existing commitments made it almost impossible to recommend *reductions* in any program. So the decisions dealt with the allocation of modest increments.

In the case of oral and colon-rectum cancers, the average cost per death averted seemed so high that the Department recommended emphasis on research and development, rather than a control program to demonstrate and extend current technology.

In cervical cancer, investigation indicated a sizable number of hospitals in low socioeconomic areas without detection programs which would be willing to establish these if supported by federal funds. The unit costs of increasing the number of hospitals seemed to be the same as that of those already in the program. Shifting the approach to reach out for additional women in the community would increase costs per examination, but not so high as to change the relative position of this program. At most, it raised costs to about those of the breast cancer control program.

Despite the seeming high potential payoff of some of the motor vehicle programs, there was considerable uncertainty about the success. As a consequence, recommendations were for small programs with a large emphasis on evaluation for use in future decisions. The same philosophy was applied to the arthritis program.

What resulted then, was a setting of priorities for additional funding, based on the analytical results, judgment about their reliability, and practical considerations.

A second type of criticism of the analysis described above was concerned with the criteria, especially the calculation of benefits.¹¹ They were considered inadequate in that they paid attention to economic productivity alone, and omitted other considerations. In particular, they were thought to discriminate against the old who might be past employment years, and women whose earning were relatively low. It was also feared that the logic, if vigorously pursued, would penalize not only health programs for the aged such as the newly launched medicare, but also programs

aimed at assisting the poor whose relative earning power is low by definition.

In actual practice in the programs studied, these concerns were only hypothetical. The programs for cervical and breast cancer looked to be good despite their being for women. As for the poor, most of the programs considered, especially cervical cancer, syphilis, and tuberculosis were aimed primarily at them, and projects were usually located to serve low income residents.

Another type of objection was raised not against the technique of analysis, but against its being done at all. Choices among diseases to be controlled and concern with costs of saving lives can be influenced primarily to physicians' attitudes in the care of an individual patient. When such decisions are made, analysis or no. Prior decisions on allocations to various health problems rested upon a combination of perception of the magnitude of the problem and the political strength organized to secure funding, e.g., the National Tuberculosis Association.

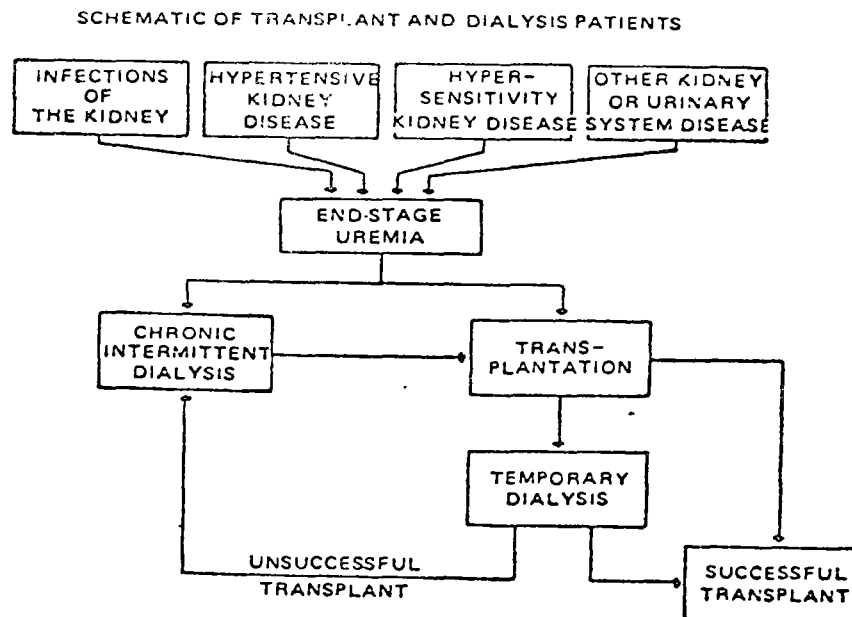
The disease control cost-benefit analyses suggest that additional considerations are very relevant. Given scarce resources (and if they are not, there is no allocation problem), one ought to estimate the costs of achieving improvements in health. If we can save more lives by applying resources to a small (in numbers affected) problem than a large one, we ought to consider doing so.

A somewhat separate issue is that of the disease control approach to personal health. This is too large an issue to deal with in this paper, but it may make more sense to develop programs of delivering comprehensive health care, including preventive services, than to maintain categorical disease programs.

The following year a number of additional control studies were performed. One of the most interesting and important was on kidney diseases.¹² This analysis was launched at a time when the public was becoming conscious of a new technique, the artificial kidney (chronic dialysis), which could preserve the life and productivity of individuals who would otherwise die of end-stage kidney disease. About 50,000 persons a year do so die. It is estimated that about 7,500 of these were "suited" by criteria of age, temperament, and the absence of other damaging illnesses for dialysis treatment. The national capacity could handle only about 900, who would remain on intermittent dialysis the rest of their lives. About 90 percent would survive from one year to the next. The operating cost of dialysis treatment in hospitals was estimated at about \$15,000 per patient per year. A home treatment approach might reduce this to about \$5,000 per year.

The federal government was under great pressure to expand the national capacity, which was limited not only by the large money costs, but

Figure 5



also by shortages of trained personnel and supplies of blood. Indeed, at the same time as this analysis was being performed, an advisory group to the U.S. Bureau of the Budget was studying the problem of end-stage kidney disease. This group came in with the recommendation for a massive national dialysis program.¹³

The HEW program analysis was somewhat more broadly charged, and took a more systems oriented approach. It concerned itself not only about the 7,500 annual candidates for dialysis, but also about the other 40,000 or so who would suffer the end-stage disease, but were unsuited to dialysis. If some way could be found to reduce the numbers falling into the pool of end-stage patients, perhaps a larger number of people could be helped. Figure 5 illustrates the classes of kidney diseases leading to end-stage disease. If these could be better prevented or treated we might keep down the number of patients requiring dialysis or transplantation.

The analysis group, therefore, examined a number of mechanisms or program components. Among these were:

1. Expanded use of existing preventive techniques.
2. Expanded use of existing diagnostic techniques.
3. Expanded use of existing treatments, including chronic dialysis, kidney transplantation and conservative management (drugs, etc.).

4. Laboratory and clinical research to produce new preventive, diagnostic, therapeutic and rehabilitative methods.

5. Increased specialized scientific medical and paramedical training to provide the manpower needed for the research and treatment attack on the kidney disease problem. This also includes continued postgraduate education to train practicing physicians in the use of the latest diagnostic and treatment modalities.

6. Increased public education to alert potential victims of kidney disease to seek medical help at the earliest possible emergence of warning signs.

7. Provision of specialized facilities not currently in existence which are essential for the execution of any of the above programs.

It must be understood from the outset that these program components are interdependent in most cases. For example, preventive techniques exist that need further research to make them maximally effective for broad application. New treatment methods are useless if existing diagnostic techniques are not being applied in medical practice. Because of the present inadequacies of existing treatments, be they dialysis, transplantation, or conservative management, a considerable research effort is required to increase their efficacy and economy to make them more broadly useful.

Time does not permit a detailed description of the analysis. Costs were estimated for relevant public and private expenditures for the nationwide treatment of kidney disease. The latter includes cost of physician care, hospital care, nursing home care, and other professional services for diagnosis and therapy of kidney diseases, as well as the cost of drugs and net insurance costs. In addition, the cost was estimated for ongoing research efforts, for demonstration, screening and detection programs, for education and training efforts, and for that portion of the cost of construction of hospital and medical facilities which can be prorated to the use of patients with kidney disease.

Based on the substantive information obtained and statistical and economic data collected, estimates were made of the benefits to be gained by different approaches to the solution or amelioration of the overall national kidney disease problem at different expenditure levels of HEW funds.

Several different funding levels were assumed, and estimates were made assuming both the current state-of-art and an expected advanced state-of-art in 1975.

Each program consisted of a hypothetical situation where a specific level of HEW program funding was divided among a rational mix of program components (screening, diagnosis and treatment, research, training, etc.) based on the particular characteristics of the specific disease group involved, and was applied to specifically involved or particularly

vulnerable groups or, as the case may be, to the entire population. The benefits accruable from these programs were estimated and stated in terms of overall reduction of mortality, prevalence, and morbidity due to kidney disease.

Benefit indices were quantified in terms of the reduction in annual mortality, the reduction in annual morbidity (number of sick days per year), and in terms of the disease prevalence in the total population due to the specific type of kidney disorder analyzed, which would accrue thanks to the impact of the various program components—such as research advances, disease prevention and improved treatment.

The analysis group avoided estimates of the impact on economic productivity in their results, although such calculations have been made independently.¹⁴

The HEW study concluded that concentration in future programs merely on the treatment of end-stage kidney disease is not likely to solve the problem of annual deaths due to irreversible uremia unless unlimited funds are available for an indefinite continuation of such a program. Thus, steps must be taken to decrease the number of people who enter the irreversible fatal stage each year by a systematic prevention or treatment of the primary kidney diseases which initiate their progressive downhill course. It is obvious from the analyses in the three major kidney disease groups—infectious, hypersensitive, and hypertensive—that the otherwise inevitable annual reservoir of patients with irreversible kidney failure can be diminished considerably through vigorous programs activated to deal with each of these groups. The application of relatively minor funds in the group of infectious kidney diseases to stimulate systematic screening of high-risk groups followed by diagnosis and treatment, even within the current state-of-the-art and without awaiting additional advances due to ongoing or future research, can bring about a significant future reduction in the number of end-stage patients. Continued and expanded research activities will be necessary to increase the percentage of patients ultimately benefited by this approach.

In the area of hypersensitivity diseases involving the kidney there appears to be no promising mode of attack in sight except for the launching of a systematic research effort intended to increase our knowledge of the disease mechanisms involved. Here, the sooner this effort is started the greater the likelihood of a reduction of the number of end-stage victims in the near future. The promise for benefits to be derived from this type of research effort is such that it should not be postponed—particularly since any new effective treatment or prevention modality would produce major benefits in the entire field of hypersensitivity diseases, such as rheumatic heart disease, rheumatoid arthritis, and others.

In the group of hypertensive diseases of the kidney an immediate start, within the current state-of-the-art, of screening, diagnosis and treatment can begin to diminish the number of patients who will eventually require end-stage treatment because of their progressive renal involvement. Simultaneous research efforts are likely to make this particular portion of the overall program more effective as time goes by, in the same fashion in which the new antihypertensive drugs developed during the last 10 years have succeeded in decreasing by about 50 percent the mortality due to malignant hypertension.

Thus, a meaningful federal program to reduce the annual mortality due to kidney disease and aimed at a general reduction of the prevalence of the various kidney diseases must perforce be a multifactorial one which brings into play all of the program components—research, prevention, treatment and education—available in our arsenal. An optimally proportioned mix of these program components must be present to yield maximum benefits in overall number of lives saved. This last concept includes not only deaths avoided today but deaths to be prevented in the years to come. Needless to say, such a total program, to be meaningful and productive, must be aimed at all three major primary kidney diseases, as well as at end-stage kidney failure.

Figure 6 shows a hypothetical program mix that might come from such conclusions. Note the early emphasis on research to affect the state-

of-the-art, and the growth in allocations to the prevention and treatment of primary kidney diseases as relative allocations to dialysis are diminished.

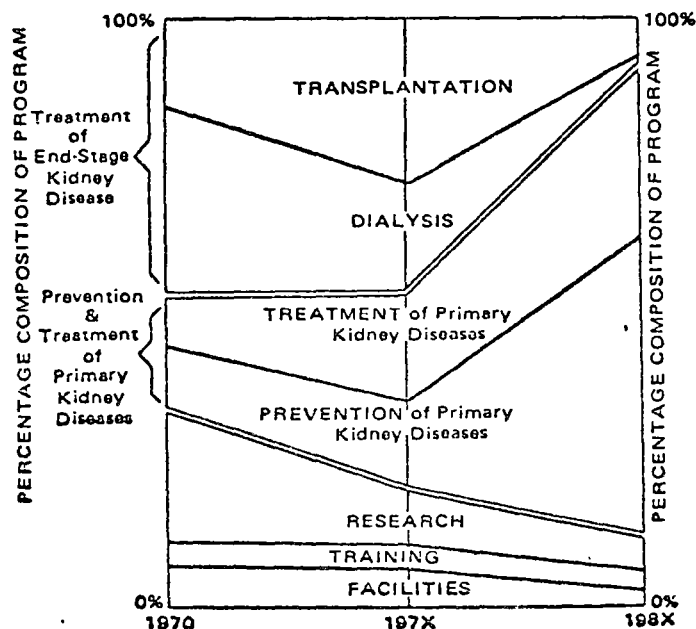
In 1966, HEW also did a rather different type of analysis in the field of health: a study of alternative ways of improving the health of children.¹² The President had focused public attention on the problem of child health and expressed a desire to introduce new legislation in this field. The HEW study was an attempt to assess the state of health of the nation's children (to what extent the children have correctable health problems and in what groups in the population were the problems concentrated) and to estimate the cost and effectiveness of various kinds of programs to improve the health of children.

This study proved more difficult than anticipated. Hard information on the state of health of children is hard to come by. Surprisingly, estimates of improvement in health attributable to medical care are almost nonexistent. It is not easy to demonstrate statistically that children who see doctors regularly are healthier than children who do not.

In regard to maternal and child care programs the stated goal was to make needed maternal and child health services available and accessible to all, in particular to all expectant mothers and children in health depressed areas. Health depressed areas could be characterized as areas with excessive infant mortality rates. There is no universal index of good or bad health among children. Two measurable areas were selected—mortality and the prevalence of chronic handicapping conditions. Over a dozen possible programs aimed at reducing these were examined. In Table 3, three selected programs addressed to the problem of coverage of maternal and child health are illustrated, two of them comprehensive programs of care to expectant mothers and children. This table shows the annual effects of spending the same amount of money, \$10 million a year, in different ways. The analysts examined comprehensive care programs covering up to age eighteen and up to age five with estimates based on the best assumptions derived from the literature and advisers on the probabilities of prevention of maternal deaths, premature deaths, infant deaths, and mental retardation, and handicapping conditions prevented or corrected by age eighteen. They also looked at a program of early case finding and assured treatment which focused on children at ages four and again every other year until they were nine. Expending the same amounts, where you put the money yields different results. With respect to reduction of infant mortality, several other programs had higher payoffs than these. For example, a program of intensive care units for high-risk newborns was estimated to reduce annually 367 deaths if we put all our money in that basket—it would cost about \$27 thousand per infant death prevented. The programs shown cost about four times that, but they do other good things too.

The HEW analysts also looked at programs with a given amount of

Figure 6



EFFECT OF
ADVANCING
STATE OF THE
ART ON FUTURE
PROGRAM
COMPOSITION

(Percentages are
wholly arbitrary
and merely serve
to illustrate
shifting trends.)

Table 3
Yearly Effects per \$10,000,000 Expended in Health Depressed Areas

	Comprehensive programs to age—		Case finding of treatment 0, 1, 3, 5, 7, 9
	18	5	
Maternal deaths prevented	1.6	3	
Premature births prevented	100-250	200-485	
Infant deaths prevented	40-60	85-120	
Mental retardation prevented	5-7	7-14	
Handicaps prevented or corrected by age 18:			
Vision problems:			
All	350	195	3,470
Amblyopia	60	119	1,140
Hearing loss:			
All	90	70	7,290
Binaural	6	5	60
Other physical handicaps	200	63	1,470

money (Table 4) aimed at reducing the number of children who will have decayed and unfilled teeth by age 18. Fluoridation programs in communities which do not possess this, will, for the same amount of money, give us close to 300,000 fewer children in this condition, compared to 18,000 or 44,000 fewer in other programs noted. Fluoridation looks like a very attractive program. It was so attractive that it could be inferred that a program as cheap as this is not being inhibited by lack of financial support by the federal government; there are other factors at work.

One other program, additional funds on family planning, looked like a very good way not only to reduce the number of infant deaths, but also the rate of infant mortality in high-risk communities.

Despite the information difficulties, several conclusions emerged clearly from the study. Two of these conclusions resulted in new legislation being requested from Congress. First, it seemed clear that a program of early casefindings and treatment of handicapping conditions would have

Table 4
Reduction in Number of 18-year-olds with Decayed and Unfilled Teeth
per \$10,000,000 Expended in Health Depressed Areas

Fluoridation	294,000
Comprehensive dental care without fluoridation	18,000
Comprehensive dental care with fluoridation	44,000

comparable payoff. It was also clear that if the large number of children who do not now have access to good medical care were to be provided with pediatric services, an acute shortage of doctors would be precipitated. Ways have to be found to use medical manpower more efficiently. The Social Security Amendments of 1967 include provision for programs of early casefinding and treatment of defects and chronic conditions in children, and for research and demonstration programs in the training and use of physician assistants.

These condensed discussions of some of HEW's applications of cost-benefit analysis to disease-control programs illustrate both the usefulness and limitations of such analyses for decisionmaking.¹² Issues are sharpened, and quantitative estimates are developed to reduce the decisionmakers' uncertainty about costs and effects. Nevertheless, the multiplicity of dimensions of output, and their basic incommensurabilities both with costs and the outputs of other claimants for public expenditure, still requires the use of value judgments and political consensus.

Prior to the introduction of the planning-programing-and-budgeting system, long-range planning in HEW was sporadic and generally not Departmentwide. No mechanisms existed for focusing attention on longer range objectives, deciding which types of programs should be given highest priority over the next several years, and then drawing up a budget consistent with those objectives and priorities.

In 1967 and 1968, the Department experimented with a new procedure for making budget decisions in the context of a long-range plan.

The procedure involves several steps. First, very early in the calendar year the planning and evaluation staff drew up a list of significant issues which would have to be addressed in formulating the budget and legislative program. This list of issues was discussed within the Office of the Secretary, with the operating agencies, and with the Bureau of the Budget. Decisions were made as to which of these issues seemed likely to be illuminated by analytical work, and studies of many of them were initiated.

The second step in 1967 was the development of a set of tentative Departmental objectives for 1973. The operating agencies were asked to formulate their objectives for 1973 in program terms. The Secretary gave each agency two ceilings for 1973—a "low" which implied continued budget stringency, and a "high" which implied somewhat greater availability of funds. Each of them was asked to answer the question: How would you allocate these sums in 1973 among existing programs or new programs which could be developed between now and then?

The agencies took this assignment seriously, despite the difficulties of forcing busy administrators to take the time away from daily crises to think five years into the future. The 1973 objectives which the agencies sent back

to the Secretary reflected considerable thought and effort on the part of agency heads and their bureau chiefs.

The agency 1973 objectives were reviewed by the Secretary and his staff and a set of Departmental objectives for 1973 was formulated.

In both the agency plans and those of the Department, the tentative results of analyses were considered. For example, the study of the delivery of health services to the poor made recommendations which involved policy decisions with respect to the coverage of the medicaid program, the training of physician assistants and family health advisers, reorganization of delivery systems (especially those dealing with ambulatory care), hospital-community links, and comprehensive care versus categorical control programs. The Departmental objectives, reflecting the Secretary's judgment about priorities for 1973, were then transmitted back to the operating agencies as guidance for formulating their fiscal year 1969 budget submissions and fiscal year 1969-73 suggested program and financial plan, and legislative program. These were reviewed for conformance to Department objectives, and a Department program and financial plan (1969-73), fiscal year 1969 budget and framework for legislative proposals were then developed and transmitted to the Bureau of the Budget.

The HEW system has proven of some use. A better understanding of the health programs of the Department and their interrelationships have been achieved. This was true not only at the Office of the Secretary, but also at the Bureau of the Budget. The primitive analyses have assisted the dialog on budget and legislative programs. The 5-year planning system has enabled the Secretary and his staff to control the processes somewhat more by testing budget and legislative proposals against the Secretary's program and financial plan.

Problems, of course, remain. One of the greatest is inadequate program evaluation.¹⁷ Very little is really known of the impact of programs. Partly this is because of the complications in sorting out federal funding impacts from all the others. Partly it is because health effects take considerable time to become evident. But a large measure of the reason is that it has not been a matter of high interest to program managers. This is beginning to change. New health legislation increasingly contains authorization of a portion of the funds for evaluation. For example, Public Law 90-174, the Partnership for Health amendments of 1967, contains wording affecting formula grants to the States, project grants, and training and demonstration grants in the following manner:

... such portion of the appropriations for grants under this subsection as the Secretary may determine, but not exceeding 1 percentum thereof, shall be available to the Secretary for evaluation (directly or by grants or contracts) of the program authorized by this subsection.

Under the direction of the Office of the Secretary, agencies are developing evaluation plans which may lead to significant gains in information for policy decisions.

NOTES

¹ Public Law 89-749 establishes planning requirements for State Health Planning Councils, State Health Planning Agencies, Area-wide Health Planning Councils, and State Health Authorities and or State Mental Health Authorities. Public Law 89-239 supports planning by Regional Medical Programs and Regional Advisory Groups. Public Law 88-443 required planning activities by State Hill-Burton Agencies and State Advisory Councils. Public Law 88-164, title II, provided grants to designated State agencies and State Advisory Councils for planning community mental health centers. Public Law 88-164, title I, part C did the same for planning mental retardation facilities. Public Law 89-272, title II provides money to designated state or interstate agencies for planning solid waste disposal activities. Public Law 90-148 provides planning funds to Air Pollution Control Agencies and to Interstate Air Quality Agencies or Commissions. The Social Security Act, as amended, title V, parts 1 and 2 provides for the state plans by State Health Agencies, State Crippled Children's Agencies or State Health Departments of programs for maternal and child health. Title XIX of the act requires state plans for Medicaid. The Vocational Rehabilitation Act, as amended, section 4(a)(2)(B) provides for Comprehensive Statewide Planning for Vocational Rehabilitation Services.

² For some interesting discussion on the interactions between systems analysis and politics see:

Charles Schultze, *The Politics and Economics of Public Spending*, The Brookings Institution, 1969; William N. Capron, "The Impact of Analysis on Bargaining in Government," delivered to a meeting of the American Political Science Association, Sept. 1966; James R. Schlesinger, *Systems Analysis and the Political Process*, the RAND Corp., June 1967; Ralph Sanders, "Systems Analysis and the Political Process," *Perspectives in Defense Management*, Dec. 1968; and Aaron Wildavsky, "The Political Economy of Efficiency: Cost-Benefit Analysis, Systems Analysis and Program Budgeting," *Public Administration Review*, Dec. 1966.

Specifically in the health area, see, for example:

Henrik L. Blum and Alvin R. Leonard, *Public Administration—A Public Health Viewpoint*, The Macmillan Company, 1963; Ralph W. Conant, *The Politics of Community Health*, report of the Community Action Studies project, National Commission on Community Health Services, Public Affairs Press, 1968; J. Enoch Powell, *A New Look at Medicine and Politics*, Pitman Medical Publishing Co., 1966; and Eugene Feingold, *Medicare's Policy and Politics*, Chandler Publishing Co., 1966.

³ For descriptions of the Department of Defense experience see:

Charles J. Hitch, *Decisionmaking for Defense*, University of California Press, 1965, and Stephen F. Eric, editor, *Defense Management*, Prentice-Hall, 1967.

⁴ U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary (planning and evaluation), *Planning-Programming-Budgeting: Guidance for Program and Financial Plan*, revised February 1968.

⁵ U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary for Program Coordination: *Motor Vehicle Injury Prevention Program*,

August 1966; *Arthritis*, Sept. 1966; *Selected Disease Control Programs*, September 1966; and *Cancer*, October 1966.

⁴ Rashi Fein, *Economics of Mental Illness*, Basic Books, Inc., New York, 1958. For later study using a new conceptual framework resulting in cost estimates almost 10 times higher see Ronald Conley, Margaret Cromwell, and Mildred Arrill. "An Approach to Measuring the Cost of Mental Illness," *American Journal of Psychiatry*, December 1967, pp. 63-70.

⁵ Burton A. Weisbrod, *Economics of Public Health: Measuring the Economic Impact of Diseases*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 1961.

⁶ Herbert E. Klarman, "Syphilis Control Programs," *Measuring Benefits of Government Investments*, edited by Robert Dorfman, The Brookings Institution, Washington, D.C., 1965, pp. 367-410.

⁷ Dorothy P. Rice, *Estimating the Cost of Illness*, Public Health Service Publication 947-6, Washington, D.C., May 1966; Jacob Cohen, "Routine Morbidity Statistics as a Tool for Defining Public Health Priorities," *Israel Journal of Medical Sciences*, May 1965, pp. 457-460, estimated the weighted impact of 25 mass diseases on deaths, loss of life years under 65, hospitalization, days of hospitalization and cases in Workers' Sick Fund.

⁸ Louis I. Dublin and Alfred J. Latka, *The Money Value of a Man*, Ronald Press, New York, 1930.

⁹ See, for example, Earl F. Cheit, *Inquiry and Recovery in the Course of Employment*, John Wiley, New York and London, 1961.

¹⁰ For discussion of some of these issues see Dorothy P. Rice, "Measurement and Application of Illness Costs," *Public Health Reports*, February 1969, pp. 95-101; T. C. Schelling, "The Life You Save May Be Your Own," *Problems in Public Expenditure Analysis*, edited by Samuel B. Chase, Jr., The Brookings Institution, 1968, pp. 127-176; and Pan American Health Organization, *Health Planning: Problems of Concept and Method*, Scientific Publication No. 111, April 1965, esp. pp. 4-6.

¹¹ U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary (Planning and Evaluation), *Kidney Disease*, December 1967.

¹² The Bureau of the Budget convened an expert Committee on Chronic Kidney Disease. See *Report* by this committee, Carl W. Gottschalk, chairman, Washington, September 1967. Herbert E. Klarman, John O'S. Francis, and Geraid D. Rosenthal, "Cost Effectiveness Analysis Applied to the Treatment of Chronic Renal Disease," *Medical Care*, vol. VI, No. 1, January-February 1968, pp. 48-54, analyzed the committee's data to explore what is the best mix of center dialysis, home dialysis, and kidney transplantations. The authors restricted their beneficiaries to those in end-stage kidney disease, and concluded that transplantation is economically the most effective way to increase life expectancy of persons with chronic kidney disease, although they recognize the factors that constrain the expansion of transplantation capability.

¹³ Jerome B. Hallan and Benjamin S. H. Harris, III, "The Economic Cost of End-Stage Uremia," *Inquiry*, volume V, No. 4, December 1968, pp. 20-25, and J. B. Hallan, B. S. H. Harris, III, and A. V. Alhadeff, *The Economic Costs of Kidney Disease*, Research Triangle Institute, North Carolina, 1967.

¹⁴ U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary for Program Coordination, *Maternal and Child Health Care Programs*, October 1966.

¹⁵ Other studies included U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary (Planning and Evaluation): *Delivery of Health Services for the Poor*, December 1967; *An Economic Analysis of the Control of Sulphur Oxides Air Pollution*, December 1967; *Nursing Manpower Programs*, March 1968; Public Health Service, Bureau of Health Services, *Recommendations and Summary: Program Analysis of Health Care Facilities*.

¹⁶ A useful reference to the existing literature on evaluation is Willy De Dynst and Karen B. Ross, *Evaluation of Health Programs—An Annotated Bibliography*. Systems Research Project, University of Minnesota, comment series No. 8-9(9).

I. Introduction

In recent years recognition of the fact that education has many of the characteristics of an investment process has led to its formal treatment as a capital good and to attempts to measure its marginal efficiency. The rate-of-return approach to educational planning that has thus evolved is faced by the same difficulty that confronts the technique when applied to investment problems in general, that it is valid only as long as the investment under consideration is sufficiently marginal so that it does not affect the structure of prices. Unless one extends the analysis to take into account the effect of an investment, especially the effect of the increase in output due to the investment, on the relevant markets, its usefulness is confined to making qualitative but not quantitative assessments of desirable investment. And it cannot be used at all for determining the distribution of such investment over time. For this reason the approach has generally been employed as an indicator of immediate priorities rather than as a planning tool, and for the latter purpose it has been displaced by relatively primitive techniques like the manpower requirements approach.

The purpose of this chapter is to extend the approach so that it may be used for estimating the return to nonmarginal investments in education. As in the classical variation of the approach, wage differentials are used to measure the benefits of education. However, instead of taking wage differentials to be exogenous quantities, the effect on them of the growth of the educational system is estimated. This is achieved by calculating the impact of the growth of the educational system on the supplies of different types of labor and then estimating how changes in the structure of the supply of labor will affect the structure of wage rates. One thus obtains a feedback relationship between the growth of a level of education and its own profitability. The faster the growth of a level of education, the greater will be the supply of graduates from it and therefore the lower their wage; meanwhile, the smaller will be the supply of persons who enter the labor force immediately instead of receiving

* Economic Development Report No. 129, presented at the Development Advisory Service Conference, Sorrento, Italy, September 5-12, 1968 (revised April 1969).

Portions of this research were supported by the Development Advisory Service and the Project for Quantitative Research on Economic Development through funds provided by the Agency for International Development under AID Contract GSD 1543. The views expressed in this paper do not, however, necessarily reflect the views of AID.

I am indebted to Marcelo Selowsky for many helpful discussions and suggestions and to Samuel Bowles for numerous comments on earlier drafts.

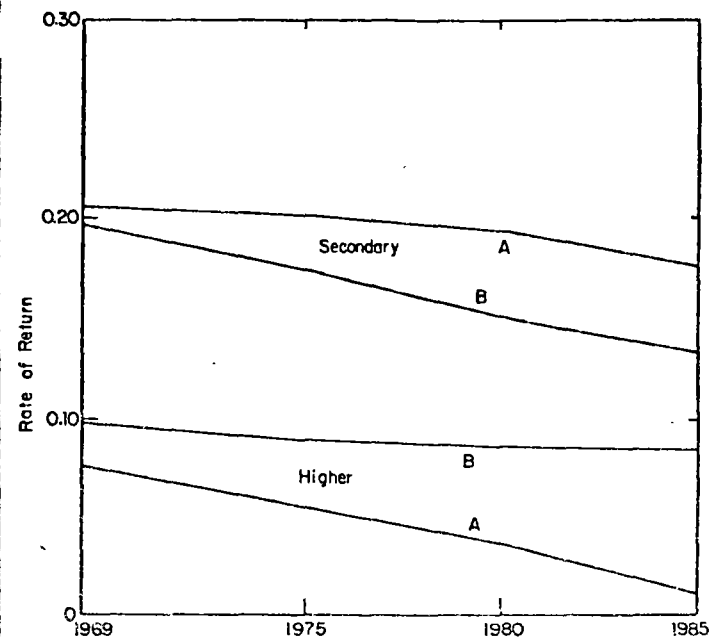


Figure 12.1

the education, and the higher will be their wage; hence the lower will be the wage differential and thus the rate of return to that type of education.

Figure 12.1 illustrates this point. The lines marked *A* show the course of the rate of return over time to secondary education and higher education in Colombia on the assumption that those levels of education maintain their historical growth rates of 10 percent and 11 percent per year, respectively. The lines marked *B* show what happens if the growth rates are changed to 15 percent and 5 percent per year, respectively.¹

If one believes that investment in education should be carried to the point where the marginal rate of return is equal to a given social rate of discount, the feedback relationship can be used to estimate the amount of investment required and also to determine its timing. In Figure 12.1 when higher education grows at 11 percent, its rate of return falls from just over 7 percent in 1969 to less than 1 percent by 1985. For a social discount rate of 10 percent this growth rate would be much too high. Cutting the growth rate back to 5 percent per year brings the trajectory of the rate of return close to the 10 percent line, and thus it is shown that the optimal growth rate for that discount rate is near 5 percent. In principle by making finer, year-to-year adjustments in the enrollment growth rate one could bring the rate of return trajectory to lie exactly on the 10 percent line. It should be noted, however, that the growth of one level of education will affect the profitability of another, and so such adjustments should be made simultaneously for all levels.

The key part of the analysis is the relationship between the supplies of different types of labor and wage levels. Studies of the rate of return to education have gen-

1. In this figure, the elasticity of substitution, σ , = 6 and the rate of growth of GDP due to non-labor factors of production, λ , = 0.04. The significance of these parameters is explained in Sections IV and V.

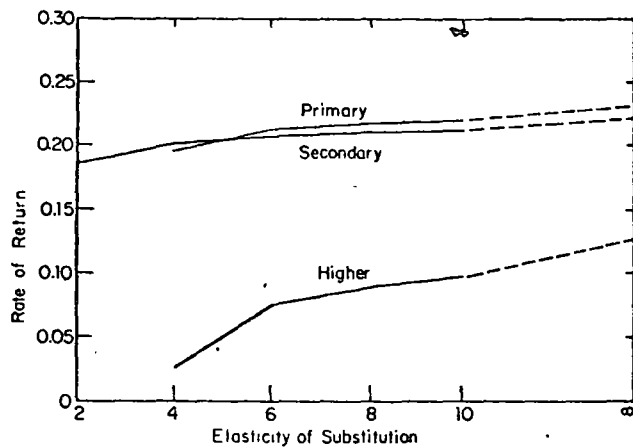


Figure 12.2 1969.

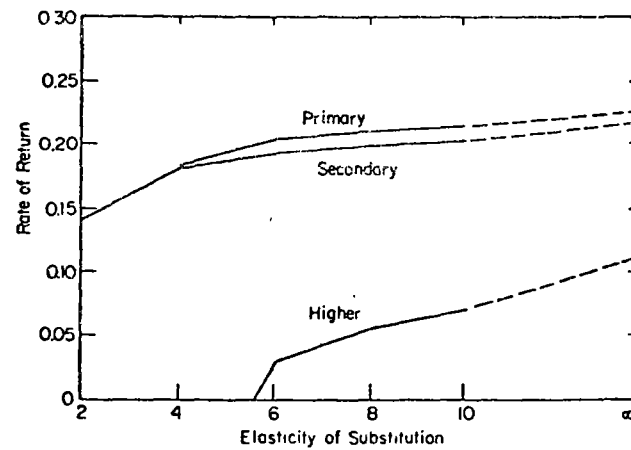


Figure 12.3 1980.

erally made the somewhat ingenious assumption that relative wage levels will not change over time.² Given that in most countries the educational quality of those joining the labor force for the first time is appreciably superior to that of the existing stock and that therefore the labor force is being secularly, but in the long run, substantially, upgraded, this assumption implies that the elasticity of substitution between different types of labor is infinite.³ However, casual observation of cross-section data and time series data shows that the greater are the relative supplies of the more highly skilled types of labor, the lower are their relative wages, implying a less than infinite elasticity of substitution. This impression has been confirmed by Samuel Bowles (1968), who found an elasticity of substitution of between six and eight using two categories of labor and international cross-section data, a result corroborated by an experiment of my own in which time series data for the United States yielded an estimate of 3.6 for the elasticity (Dougherty, 1969: appendix 2).

The projection of wage rates is important because the estimate of the rate of return to a level of education may be sensitive to yearly earnings far into the future, unless the estimate of the rate of return itself is high. (For a discussion of this point, see Section VI.) This is true for estimates of the current rate of return to education, and especially true for estimates of the rate of return in future years. Figure 12.2 shows the sensitivity of estimates of the current rates of return to Colombian education using alternative assumptions about the elasticity of substitution. The lower the elasticity, the faster the relative wage levels are expected to contract. It can be seen that the estimate of the current rates of return to primary and secondary education, both high, are not influenced much by the elasticity; but that of higher education, which is low, is severely affected. Figure 12.3 shows the effect of the elasticity of substitution on the estimates of the rates of return in 1980. In this case the estimates of both primary and secondary education are significantly affected by the elasticity, and the estimate for higher education is very sensitive to it. Table 12.1 shows base year (1964) wage

Table 12.1. Projected Wage Levels in Colombia^a (thousand 1958 pesos per year)

	Illiterates	Primary 1-3	Primary 4-5	Secondary 1-4	Secondary 5-6	Higher 1-3	Higher 4-6
1964 (base year)	1.50	2.26	3.27	5.61	12.65	17.07	21.61
1980							
$\sigma = 4$	2.45	2.98	4.56	6.15	18.83	17.32	23.04
6	2.27	2.96	4.46	6.51	17.99	18.81	24.61
8	2.19	2.95	4.40	6.69	17.57	19.58	25.41
10	2.14	2.95	4.37	6.80	17.32	20.06	25.90
∞	1.94	2.92	4.22	7.24	16.33	22.03	27.89

^a All the parameters except σ were set at their reference values. See Section VII below.

levels and projected 1980 wage levels corresponding to alternative hypotheses of the elasticity of substitution, in constant 1958 pesos per year.

The calculations required by the analysis are executed in six stages. Exogenous given projections of the number of students entering the first year of each educational level are used to estimate the additions to the different categories of workers and to calculate the demand for teachers and for investment in fixed capital in schools. This information is used to project the number of workers in each of the different categories by which the labor force is classified. A constant elasticity of substitution function is then used to aggregate these projections into a single measure of the labor force which takes into account not only the increase in the total number of workers but also the improvement in its quality. This index is used together with an estimate of growth due to factors of production other than labor in order to estimate the rate of growth of GDP for the country. This enables the marginal product of each different category of worker to be calculated, and, hence, one obtains projections of the wage rate for each category. The wage-rate projections can then be used to evaluate the present discounted values of the benefits and the costs of each level of education and one arrives at an estimate of their rates of return. If it is desired that the rate of return to each level of education should be equal to some predetermined social

2. Some are downright naïve and assume that absolute wage levels will remain unchanged.

3. Providing that there do not exist relative complementarities between some types of labor and other factors of production, for example, between highly skilled workers and capital. If such complementarities do exist, it would be possible for relative wage levels to remain constant with less than infinite elasticities of substitution.

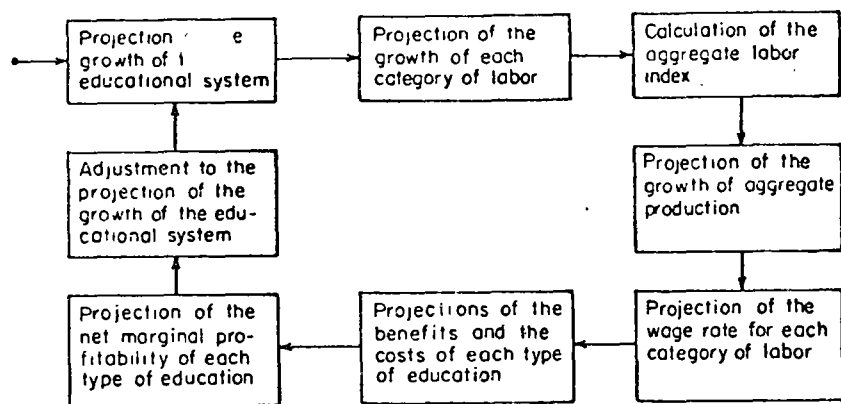


Figure 12.4

count rate, these results can be used to modify the enrollment projection. Those branches of the educational system with rates of return greater than the social discount rate should be increased, and those with rates of return less than it should be reduced. The initial projections can thus be adjusted iteratively so that their rates of return are equal to the discount rate over the whole of the planning horizon. When this point is reached, the supply and the social demand for each type of labor are in balance, and the educational system is attaining its optimal growth path. Figure 12.4 represents the process schematically.

The remaining sections of this paper describe each of the stages in more detail with reference to an application of the methodology to education in Colombia.

II. The Educational System

In Colombia, primary education lasts 5 years; secondary education 6; and higher education up to 5 or 6.⁴ Two kinds of information are required for the projection of the growth of each level of education: (1) the basic parameters, such as dropout rates and student-teacher ratios; and (2) the projection of the enrollment in the first grade⁵ of each educational level for each year of the planning period.

The first task is to transform, for each educational level, the basic parameters into what will be referred to as an "impact table," a table which shows all the repercussions of increasing the enrollment in the first grade of that educational level by 100 students in year n . In order to shorten the exposition, the construction of the impact table will be described here in detail for Colombian secondary education only. The procedures for primary and higher education are similar; their descriptions are omitted (but can be found in Dougherty 1969: appendix 3).

The basic parameters needed for the analysis are (1) the student-teacher ratio, (2) the composition of the teaching staff according to educational level, (3) the

4. That is, if a student does not repeat any year. In fact, repeating rates are high, so that, for example, the average time taken to complete primary education is approximately 6 years.

5. The word "year" will be replaced by the word "grade" when referring to instruction within any educational level. For example, the first year of secondary education will be referred to as the first grade of secondary education.

Table 12.2. Calculation of the Number of University Trained Teachers Required by Secondary Education in 1978 (thousands)

Year	Number of students entering first grade of secondary school	Requirements in 1978 of university trained teachers
1969	164	0
1970	180	0
1971	198	0.1
1972	218	0.4
1973	240	1.8
1974	264	2.7
1975	290	3.9
1976	319	5.6
1977	351	7.7
1978	386	11.7
1979	424	
1980	467	
Total		33.9

capital cost of providing a place for one student, and (4) the dropout and repeating rates for each grade.

With these basic data the effects of enrolling 100 students in the first grade of secondary education in year n are calculated. The number of teachers required by the students is estimated using the student-teacher ratio, and this is divided between teachers with higher education and those with secondary education only. The capital stock associated with the students is also calculated.

The next step is to calculate the position at the beginning of year $n + 1$. By this time most of the students will be entering second grade. Some will be repeating first grade. The remainder will have dropped out. The total enrollment will be smaller than 100 by the number that have dropped out, and the number of teachers and the amount of capital required will have been reduced proportionately. The investment in the second year will be equal to the depreciation on the capital stock during the first year, less the reduction in the capital stock due to the dropout of a fraction of the students and, hence, is likely to be negative. The fraction of the students that dropped out during the previous year represents a potential addition to category 4 (see Section III) of the labor force.⁶

The process is repeated for each succeeding year. In year $n + 6$ the first graduates appear—those students that have neither dropped out nor repeated. In the next few years more graduates appear, these being students who have repeated one or more grades. By the eighth year after the initial enrollment, most of the students have dropped out or graduated and will have been assigned either to category 4 or 5 of the labor force.

The results of these calculations are gathered together in the impact table (Table 12.3) With this table it is possible to calculate the effect on the secondary school

6. For the purposes of this paper the Colombian labor force is classified into seven categories according to educational level. For the definitions of these categories, see Section III.

	Year								
	n	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7	n+8
Total enrollment									
Enrollment in first grade	100.0	71.7	57.6	44.7	33.4	24.8	6.3	1.0	0.1
Enrollment in second grade	100.0	5.0	0.3	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1
Enrollment in third grade		66.7	6.7	0.5	0.8	0.9	1.0	0.9	0.1
Enrollment in fourth grade			50.6	7.6	7.3	0.9	5.3	0.9	0.1
Enrollment in fifth grade				36.6	25.3	6.3	1.0	0.1	0.1
Enrollment in sixth grade						17.5	5.3	0.9	0.1
Secondary-school trained teachers	4.57	3.27	2.63	2.04	1.53	1.13	0.29	0.05	0.01
University trained teachers	3.04	2.18	1.75	1.36	1.02	0.76	0.19	0.03	0
Capital requirements (thousand 1958 pesos)	235.3	168.7	135.4	105.1	78.7	58.4	14.8	2.4	0.3
Depreciation on capital in previous year		7.1	5.1	4.1	3.2	2.4	1.8	0.4	0.1
Gross investment	235.3	-59.5	-28.2	-26.3	-23.3	-17.9	-41.9	-11.9	-2.0
Drop-outs from grades 1-4 in previous year		28.3	14.2	12.9	11.2	2.1	0.3		
Cumulative drop-outs from grades 1-4 in previous year		28.3	42.5	55.3	66.6	68.6	68.9	68.9	68.9
Cumulative drop-outs from grades 5-6						6.5	6.5	0.3	0
Graduates at end of previous year							8.2	8.4	8.4
Cumulative graduates							16.7	21.7	22.5

system and on the labor force of a projection of the number of students entering the first grade of secondary education from 1969 onward.

As an illustration take the enrollment projection shown in the second column of Table 12.2, which is based on the assumption that the present 10 percent annual growth rate is maintained.

The consequences of this projection for, say, the year 1978 can be calculated using the impact table. As an example, the total demand of the secondary school system for university trained teachers will be estimated. The number of university trained teachers needed by the cohort of students entering secondary education in 1978 will be $\frac{386}{100} \times 3.04 = 11.7$ thousand. The number needed in 1978 by the cohort which entered in 1977 will be $\frac{351}{100} \times 2.18 = 7.7$ thousand. Generalizing, the number needed by the cohort entering in the year (1978 - n) will be equal to the amount of the enrollment in that year multiplied by $\frac{1}{100}$ of the coefficient for year n + 1 in the impact table. It can be seen from Table 12.2 that the closer a cohort is to 1978, the larger is its requirement of teachers. This is because the later its date of entry, the larger its initial size and the less it will have been reduced by desertion and graduation by 1978. The aggregate requirement of university trained teachers by secondary education in 1978 is shown as the total in Table 12.2. In the same way one may calculate the requirement of teachers with secondary education, the gross investment in fixed capital needed, the dropouts to labor category 4, the dropouts to labor category 5, and the number of graduates in 1978. Likewise all these quantities may be calculated for the secondary school system for every year from 1969 until the terminal year of the planning period. And by the same methodology, the consequences of enrollment projections for primary and higher education may be calculated. The next stage is to compute the combined effects of these enrollment projections on the supply of each category of labor.

III. The Labor Force

In the application to Colombia the labor force is divided into seven categories:

Category

- 1 illiterates
- 2 those with some primary education but not more than 3 complete years of it
- 3 those with more than 3 years of primary education but with no secondary education
- 4 those with some secondary education but no more than 4 complete years of it
- 5 those with more than 4 complete years of secondary education but no higher education
- 6 those with some higher education but not more than 3 complete years of it
- 7 those with more than 3 years of higher education

The projection for category 5 is described in detail here. Since the projections for the remaining categories are made in similar fashion, their descriptions are omitted (but can be found in Dougherty 1969: appendix 4). Category 5 contains five separate subcomponents:

a. those workers remaining from the initial stock of the category in 1969, the year the calculations for Colombia begin. This subcomponent declines slowly as its members retire or die.

Table 12.4. Example Projection of the Growth of Labor Category 5 (thousands)

Year	Residue from initial stock	Primary school teachers	Secondary school teachers	Cumulative drop-outs from secondary school	Cumulative graduates from secondary school not continuing to higher education	Total
1970	272.0	- 53.7	-28.0	20.4	7.2	232.4
1975	266.0	- 92.4	-37.7	82.5	17.6	236.1
1980	257.0	-114.9	-61.5	160.9	17.6	259.0
1985	242.0	-142.9	-99.1	289.5	17.6	307.1

b. Primary school teachers. Using the projected enrollment in primary education and the student-teacher ratio for that level, one can calculate the requirement of teaching staff. This figure forms a negative contribution to the labor force available for the rest of the economy.

c. Secondary school teachers. In the same way one can calculate the number of secondary school graduates who will be withdrawn from the potential labor force in order to teach secondary school.

d. Dropouts from secondary school. Using the projections of enrollment in secondary education and Table 12.3, one can calculate the number of students who drop out from the last two grades of secondary education and who are therefore assigned to category 5.

e. Graduates from secondary school who do not enter higher education. Using the projection of secondary school students and Table 12.3, one can estimate the number of graduates from secondary school for each year. From the projection of graduates one subtracts the projection of the enrollment in the first year of higher education and the remainder are assigned to category 5.

Subcomponents d and e represent potential additions to category 5 in the sense that they are estimates of students who leave the school system qualified to enter that labor category. However, a significant proportion, mostly women, for one reason or other will not actually enter the labor force. The figures for these two subcomponents are therefore multiplied by an adjustment factor calculated from data obtained in the 1964 census. Similar adjustment factors are calculated for the other six labor categories.

Table 12.4 shows a typical projection made for category 5. Although the projection has to be calculated for each year, it is sufficient to show here the results at 5-year intervals. It should be emphasized that each of the subcomponents b through e is dependent upon the particular projections of the enrollments in the different levels of the educational system.

The projections for the other six categories of labor are made in the same way. These are now combined by the use of a constant elasticity of substitution (CES) function in order to arrive at an aggregate measure of the labor force which takes into account the educational level of the workers as well as their number.

IV. The Aggregate Labor Index

International cross-section data indicate that most countries are experiencing two major long-term changes in their economies: (1) the structure of the labor force is

changing as the proportion of the more highly educated categories increases; (2) and the structure of relative wages is contracting. These two processes work together in a complementary fashion to secure the absorption into the labor force of those students leaving the educational system. If techniques of production change readily in response to small changes in relative wages, then one can expect relative wages to change slowly. If, on the other hand, techniques are rigid, then the structure of wages may have to change considerably in order for the supply of new workers to be absorbed. If the rigidity is extreme, the increase in the relative supply of some type of worker may not be entirely absorbed at any acceptable wage, and the result would be unemployment.

A useful concept for the analysis of this interaction is the elasticity of substitution between factors of production. In the case of a process using only two factors, the elasticity of substitution is defined as the rate at which the relative use of two factors changes, divided by the rate at which the ratio of their marginal products changes measured along a production isoquant. The concept has been generalized to cover more than two factors of production in several different ways, of which the most widely used is due to Allen (1938: 503-509). The higher the elasticity of substitution, the smaller the fall in the relative price of a factor that is required to induce the absorption of a given increase in the relative supply of that factor into production. When the elasticity is infinite, any quantity of the factor can be absorbed without requiring a fall in its relative price. When the elasticity is unity, the relative price of the factor must fall at the same rate as the relative supply is increased. When the elasticity is zero, the production process is of the Leontief fixed coefficients form. And, in this case, it is impossible to eliminate a surplus of the factor however much the price changes.

It is important to notice that the elasticity of substitution is a time-dependent concept. In the short run it is difficult to adapt techniques of production, and hence an increase in the relative supply of a factor is likely to cause a temporary surplus and a significant fall in its price. The long-run price elasticity of demand, however, may well be appreciably greater than the short-run elasticity. The initial fall in the relative price will induce a modification of the production process toward greater relative use of the factor. The increase in the relative demand for the factor may then restore the relative price part of the way toward its former level. Thus the factor could possess both a low short-run elasticity and a high long-run elasticity of substitution.

The same comment applies to the case in which the relative supply of a factor is being continually increased. The result will be a continuous decline in the relative price of the factor. The relationship between the rate of decline of the relative price and the rate of increase of the relative supply can be expected to be sensitive and dependent upon the magnitude of the latter. A small rate of increase in the relative supply might cause virtually no change in the relative price. A slightly larger rate of increase might cause an equal rate of decline in the relative price. A substantial rate of increase might not be capable of being absorbed at all and might lead to a drastic rate of decline in the relative price.

In view of these comments one might expect the elasticity of substitution between different types of labor to be high, since the ratio of the annual increase of each type of labor to its existing stock is quite small and the rates of relative increase, even smaller. It is therefore not surprising that the empirical results quoted in Section indicate that the elasticities of substitution between different types of labor are large even when the number of types of labor distinguished is small.

Table 12.5. Example Projections of the Seven Categories of the Labor Force and of the Aggregate Labor Index, Sample Years^a

Year	Category							L
	1	2	3	4	5	6	7	
1970	1481.0	2808.4	1321.8	504.7	232.4	30.6	43.7	380.2
1975	1378.0	3852.9	1442.9	877.9	236.1	68.3	96.6	499.1
1980	1258.0	4291.5	1968.2	1477.9	259.0	119.8	200.0	663.6
1985	1118.0	4424.3	2281.2	2463.4	307.1	195.3	316.6	849.2

^a See Section V.

The aggregate labor index is calculated using the straightforward CES function

$$L = (a_1C_1^\theta + \dots + a_7C_7^\theta)^{1/\theta} \quad (12.1)$$

where

$$\theta = (\sigma - 1)/\sigma$$

σ = elasticity of substitution

C_i = number of workers in labor category i

and the a_i are constants.

For Colombia the a_i are calculated using 1964 census data and information on relative wage rates (see Section V). There is at present no reliable estimate for σ , and so the calculation of the labor index is made for a range of reasonable values of this parameter. There exist more sophisticated forms of the CES function, notably the two-level version introduced by Sato (1967), which permits a partial relaxation of the assumption of a single elasticity of substitution between any two types of labor.⁷ However, in the Colombian case, given the data limitations, it has appeared advisable to keep the form of the index as simple as possible. (The appendix to this chapter discusses further problems in the use of this aggregate labor index.)

Table 12.5 shows some projections of the categories of the labor force for some of the years of the planning period (based on underlying projections of the enrollment in the different branches of the educational system), and the aggregate labor index calculated on the assumption that the elasticity of substitution is equal to 6.

V. The Projection of Wages

Section IV described the estimation of an aggregate index for labor over the planning period. The next step is to use this index in order to project the marginal productivity of each category of labor using equation (12.2). (Some of the implications of this equation are discussed in the appendix to this chapter.)

$$w_i = \frac{dY}{dC_i} = \frac{\partial Y}{\partial L} \cdot \frac{dL}{dC_i} \quad (12.2)$$

where

w_i = marginal product of labor category i

Y = aggregate output

7. Bowles (1968) has estimated such a function using three types of labor and subaggregating two

The term dL/dC_i can be calculated by differentiating equation (12.1). The projection of the value over time of the term $\partial Y/\partial L$ is less straightforward. One may expect it to be a decreasing function of L and an increasing function of the supplies of other factors of production, for example, capital. One may also expect it to be an increasing function of time, *ceteris paribus*, as a result of the effects of what may loosely be termed "technical progress."

In order to project the value of the term $\partial Y/\partial L$, it is therefore essential to construct some sort of aggregate production function. An attempt was made to estimate for Colombia the coefficients of a Cobb-Douglas function using regression analysis. This was abandoned when it was found that an exponential time trend by itself would explain 99.6 percent of the variance in production over an observation period of 13 years and that it was highly collinear with the other independent variables used. With some reluctance the function⁸

$$Y = AL^\lambda e^{\lambda t} \quad (12.3)$$

has been used instead. The term $e^{\lambda t}$ is intended to cover all sources of growth of output other than labor, λ being the total rate of growth due to these sources. It is not possible to predict with any confidence the value of λ for Colombia, and hence all the calculations have been repeated for a range of values for this parameter. The results obtained in each case are therefore conditional on the particular value of λ associated with them. The higher the value of λ , the faster is the projected growth of GDP and thus of the demand for labor, and hence the greater is the need for improving the educational level of the labor force and the greater is the rate of return to education.

The marginal product of each category of labor can now be calculated using equations (12.1), (12.2), and (12.3).

$$w_i = a_i \beta Y C_i^{\theta-1} L^{-\theta} \quad (i = 1, \dots, 7) \quad (12.4)$$

where all the symbols are as defined above.

The values of the parameters a_i were estimated by using equation (12.4) and the values of the w_i and the C_i in 1964.

$$w_i = \frac{a_i \beta Y C_i^{\theta-1}}{\sum_j a_j C_j^\theta} \quad (i = 1, \dots, 7)$$

$$w_i \sum_j a_j C_j^\theta = a_i \beta Y C_i^{\theta-1} \quad (i = 1, \dots, 7)$$

These equations are homogeneous in the a_i and therefore possess an infinite number of solutions if consistent, and no solution at all if not consistent. Consistency is proved by multiplying equation i by C_i and summing:

$$\sum_i (w_i C_i \sum_j a_j C_j^\theta) = \sum_i a_i \beta Y C_i^\theta$$

since

$$L^\theta \sum_i w_i C_i = L^\theta \beta Y$$

Table 12.6 shows the projection of the wage rates for the different categories, using the projection of their numbers shown in Table 12.5 and $\sigma = 6$ and $\lambda = 0.04$.

Table 12.6. Exar Projection of the Wage Rates for the Seven Labor Categories, Samp. Years (thousand pesos per year)

Year	Category						
	1	2	3	4	5	6	7
1970	1.74	2.50	3.74	6.11	14.38	18.54	24.88
1975	1.99	2.68	4.17	6.30	16.22	18.33	24.66
1980	2.27	2.96	4.46	6.51	17.99	18.81	24.61
1985	2.64	3.36	4.95	6.81	19.92	19.75	25.96

In Table 12.5 labor category 6 is projected to grow sixfold over the period 1970-1985, and as a result by the latter date its shadow wage would fall below that of category 5. In reality one would expect the declining profitability of 3 years of higher education to encourage potential students either to opt for professional studies leading to category 7 instead of technical studies, or not to enter higher education at all but to go straight into the labor force on graduating from secondary school.

Vi. Calculating the Rate of Return to Education

The value of education has many components, some of them "economic," like the increase in the productivity and the occupational mobility of an individual, some of them "noneconomic," like his cultural enrichment and the satisfaction he derives from the improvement in his social status. Of these only the increase in the marginal product of an individual is readily susceptible to measurement,⁹ and for this reason the analysis below is confined to this subcomponent.¹⁰

Section II described how one can calculate the impact of a cohort of 100 students entering the first grade of each level of the educational system. The calculations were described in detail for secondary education. The impact was estimated in real terms: the number of teachers required, the number of graduates produced, the number of drop-outs generated, the stock of capital required. Using these figures alone, it is impossible to evaluate the worth of the educational system. They must be converted to social-value terms by multiplying them by the relevant shadow prices calculated in Section V.

This yields a series of benefits and costs for each year from the date of entry of the cohort into secondary school until the retirement of the last of its members from the labor force. The rate of return is then that rate of discount for which the net present value of the series is zero.¹¹

9. And this only at the expense of assuming that the marginal product of an individual is equal to his wage. For lack of a better alternative, this assumption is used here.

10. The omission of the other components therefore constitutes a downward bias in the calculation of the value of education in this study. A bias in the other direction should also be noted. In most countries a positive correlation exists between the innate ability of an individual and the education he receives. Thus to some extent salary differentials ascribed to education are in fact due to differences in ability. However, it appears that in Colombia this correlation is relatively weak, and no attempt is made here to adjust for it.

11. In principle such a discount rate may not exist; if it does exist, it may not be unique. The latter problem was not encountered in the calculations for Colombia; when the former occurred, the economic interpretation was clear.

There are five sources of cost:

1. *Opportunity cost to society of withdrawing 100 primary graduates from the labor force and putting them into secondary education.* The actual deduction from labor category 3 (the category to which primary graduates would be assigned if they entered the labor force instead of enrolling in secondary education) is less than 100 because a large proportion would not have entered the labor force in any case. The estimated participation rate for labor category 3 is 56.4 percent, and this figure is used in the estimation of the cost. Hence the opportunity cost in year u of enrolling 100 primary graduates in secondary school in year t ($u \geq t$) is $56.4 \times$ the wage of a category 3 worker in year u .

2. *Cost of secondary-school educated teachers.* In Section II it was shown that the number of teachers with secondary-school training required by a cohort of 100 students entering secondary school in year t would be 4.57 in year t , 3.27 in year $t + 1$, and 2.63, 2.04, 1.53, 1.13, 0.29, 0.05, 0.01 in years $t + 2$ through $t + 8$. The decline in the number of teachers required during the first 6 years is due to the reduction in the size of the cohort caused by desertion. In the seventh year the number is reduced still further with the graduation of those students who have gone through secondary school without dropping out or repeating a grade. By the ninth year all but a fraction of hardy triple-repeaters have left secondary school, and the number of teachers required is negligible. The social cost of these teachers in year u is equal to the number required in that year multiplied by the wage for that year for the labor category 5, to which these teachers belong.

3. *Cost of university educated teachers.* The calculation of the cost of university educated teachers is made in the same manner as that of the secondary-school educated teachers. In this case the shadow price used to value them is the marginal product of the labor category 7, the category to which workers with this level of education belong.

4. *Overheads.* In addition to teachers' salaries there is a certain amount of expenditure on administration, maintenance, and materials. It is assumed that this will continue to bear the historically observed relationship to expenditure on salaries.

5. *Capital costs.* The cost of fixed capital is calculated on an implicit cash flow basis. The stock of capital required by a cohort of 100 students entering secondary school in year t is calculated and registered as an expenditure in year t . By year $t + 1$ part of the cohort has dropped out, and the amount of capital required has diminished. The reduction in capital is then registered as a receipt for year $t + 1$, after deducting from it a charge for depreciation. In the succeeding years the rest of the capital will be returned as the cohort is reduced by further desertion and then, in years $t + 6$ onward, graduation. The cost of capital is thus a series consisting of one large expenditure followed by a number of small receipts whose total is less than the expenditure by the total of depreciation charges. The net discounted cost is thus an increasing function of the discount rate used.

The benefit derived from entering a cohort of 100 students in secondary school is the value of their earnings after they have left that level of education. During the first four grades 68.9 members of the cohort will drop out and will therefore be assigned to labor category 4. During the last two grades 8.4 will drop out and will be assigned to category 5. The remaining 22.7 will graduate, and their value will again be the marginal product of category 5. (Some of the students who graduate will proceed to

higher education and have their marginal products increased further; but this fact is not relevant to the estimation of the benefits of the secondary school system.)

Table 12.7 shows the present discounted values of each of the series of costs and benefits of entering 100 students in the first grade of secondary education in 1969, using the example wage projections in Table 12.6 and two different discount rates. With a discount rate of 5 percent the net discounted value per student is 52,782 (constant 1958 pesos); with a discount rate of 20 percent the net value falls to 342 pesos. It can therefore be seen that in this example calculation, the rate of return to entering an additional student in the first grade of secondary education is just over 20 percent.

These calculations can be repeated for students enrolling in the first grade of secondary school in 1970 and in subsequent years. The rate of return to secondary education will change from year to year, reflecting principally the changes in the shadow wages for categories 3, 4, and 5 of the labor force, these being the most important shadow prices used in estimating the benefits and the costs associated with this educational level.

Similarly these calculations may be made for the other branches of the educational system. Table 12.8 shows typical estimates of the rate of return to enrolling an additional student in primary, secondary, and higher education for 1969, 1975, 1980, and 1985.

From Table 12.7 it may be observed that the direct cost of secondary education, that is, the salaries of teachers, overheads, and the cost of fixed capital, is considerably smaller than the discounted values of the earnings of the workers withdrawn from category 3 and of the weighted earnings of those who graduate or drop out from secondary school. It should therefore be evident that the estimate of the rate of return

Table 12.7. Present Discounted Value of the Costs and Benefits of Entering 100 Students in the First Grade of Secondary Education in 1969—Example Calculation^a (thousand constant 1958 pesos)

	Discount rate	
	5 percent	20 percent
Costs		
Lifetime earnings of category 3 workers	4832.1	1169.3
Secondary-school educated teachers	208.1	168.4
University educated teachers	235.7	192.4
Overheads	259.2	210.7
Capital cost	55.9	114.6
Total	5591.0	1855.4
Benefits		
Earnings of 68.9 drop-outs to category 4	3675.4	879.0
Earnings of 8.4 drop-outs to category 5	2025.5	309.9
Earnings of 22.7 graduates	5168.3	700.7
Total	10869.2	1889.6
Net value	5278.2	34.2

^a Assumptions: $\sigma = 6$, $\lambda = 0.04$, enrollments grow at historical rates.

Table 12.8. Rate of Return to the Additional Enrollment of One Student in Primary, Secondary, and Higher Education, Selected Years—Example Calculation^a

Year	Primary	Secondary	Higher
1969	21.1	20.7	7.4
1975	20.7	20.3	5.2
1980	20.5	19.5	3.4
1985	19.8	17.8	0.9

^a Assumptions: $\sigma = 6$, $\lambda = 0.04$, enrollments grow at historical rates.

to secondary education is at least as sensitive to the assumptions used for projecting the earnings streams as to those used for calculating the direct cost. In the case of higher education the discounted values of the earnings are very much greater than the direct cost, and the rate of return is not much affected by substantial changes in the latter. In the case of primary education the direct cost is more important.

VII. Optimizing the Growth of the Educational System

In the example calculation in Section VI the rate of return to entering an additional student into the first grade of secondary school in 1969 is just over 20 percent. This fact implies that if the social discount rate were 20 percent or less, it would be profitable for society to increase the entry for that year above the number shown in the original projection. This would have the effect of increasing the supply of categories 4 and 5 of labor in the future and, hence, of reducing the shadow wages of those categories. At the same time the number of primary school graduates entering labor category 3 in that year would be decreased, causing a slight rise in the shadow wage of that category. Both these effects would tend to reduce the difference between the shadow wages of categories 4 and 5 and the shadow wage of category 3, with the result that the marginal rate of return to secondary education would decline. As long as the rate of return to adding an additional student to the enrollment in the first grade is greater than the social discount rate, the enrollment ought to be increased. If it should happen that the rate of return is less than the social discount rate, this would imply that society is taking a loss on educating the marginal students, and the enrollment should be cut back.

Ideally the enrollment should be adjusted so that the rate of return to secondary education is equal to the social discount rate. This observation applies to every year in the projection of secondary school enrollment. The enrollment for each year of the planning period should be adjusted so that the rate of return to enrolling an additional student in the first grade becomes equal to the social discount rate for each year.

Similarly, the projection of enrollment in primary and higher education should be adjusted until the marginal rates of return to those levels of education become equal to the social discount for each year. Since the rates of return at the three levels of education are dependent on the projected enrollment of each (though their common dependence on the structure of wage rates), the adjustment of the three enrollments must be done simultaneously.

When the investments are completed and the rate of return to each educational level is equal to the discount rate for each year, the educational system has achieved its optimal growth path. It should be emphasized that the optimal growth path thus calculated is conditional on the assumptions made about the key parameters, in particular the social discount rate and the elasticity of substitution.

It is possible that the optimal projections may show unrealistic rates of growth for some of the branches, at least for the first few years. When this is the case, it is necessary to examine the factors limiting growth and to estimate the maximum rate. The revised optimal projections then should show for each branch for each year either a rate of return equal to the social discount rate or constrained maximum growth in enrollment over the previous year. As will be seen in Section VIII, this proved to be the case for secondary education in Colombia; an upper bound of 15 percent per year was imposed upon its growth rate, and this bound should be attained for at least the next 10 years unless the elasticity of substitution is very low or the social discount rate is very high.

VIII. Results for Colombia

The first part of this section reports results based on the assumption that secondary and higher education continue to maintain their recent growth rates of 10 percent and 11 percent per year, respectively. The projection for primary education is made on the assumption that universal primary education is achieved by 1985. (For a description of the projection, see Dougherty 1969: appendix 3.) The second part of the section describes the results of following the procedure outlined in Section VII for optimizing the projection of enrollments in secondary and higher education.

Results Based on Present Trends

The estimates of the rates of return to the different levels of education in Colombia are dependent on the assumptions concerning a number of parameters whose values are open to debate. In view of this fact a reference analysis was executed, using plausible values for these parameters, and then a series of sensitivity analyses were made varying each of the parameters in turn.

In the reference analysis σ , the elasticity of substitution, was set at 6; λ , the rate of growth of GDP due to factors of production other than labor, was set at 4 percent per year; and β , the share of labor in GDP, was set at 0.55. The illustrations of the stages in the analysis given in Sections II through VI all assume that the parameters take their reference values. Table 12.4 shows the construction of the projection of labor category 5, with the hypothesis that present enrollment trends in secondary and higher education are maintained. Table 12.5 shows the projections for the other six categories with the same assumption and the projection of the labor index using the reference value of 6 for the elasticity of substitution. Table 12.6 gives the projection of wages corresponding to the projections of the labor categories in Table 12.5 on the assumption that λ takes its reference value of 4 percent per year. Table 12.7 shows the calculation of the rate of return to secondary education, and Table 12.8 shows the rates of return to each of the three levels of education for selected years. In Figure 12.5 these rates of return are plotted over time together with the results of three sensitivity analysis experiments described below.

The parameter which is the most obvious candidate for sensitivity analysis is the elasticity of substitution. Table 12.9 shows the rates of return for each of the levels for the years 1969, 1975, 1980, and 1985 for different values of this parameter. The results for the years 1969 and 1980 have already been plotted in Figures 12.2 and 12.3.

Other important parameters are λ and β , both of which appear in the production function, equation (12.3). Sensitivity analysis showed that for each 1 percent increase in λ , the rates of return to each level of education would increase by between 1.4 percent and 1.6 percent. It was not easy to estimate β from the official Colombian statistics. Its value was calculated to be 0.55, but it is possible that the true value may be lower. Reducing the estimate to 0.45 had the effect of decreasing the rates of return to primary and secondary education by 1 percent and of decreasing the rate of return to higher education by 0.7 percent.

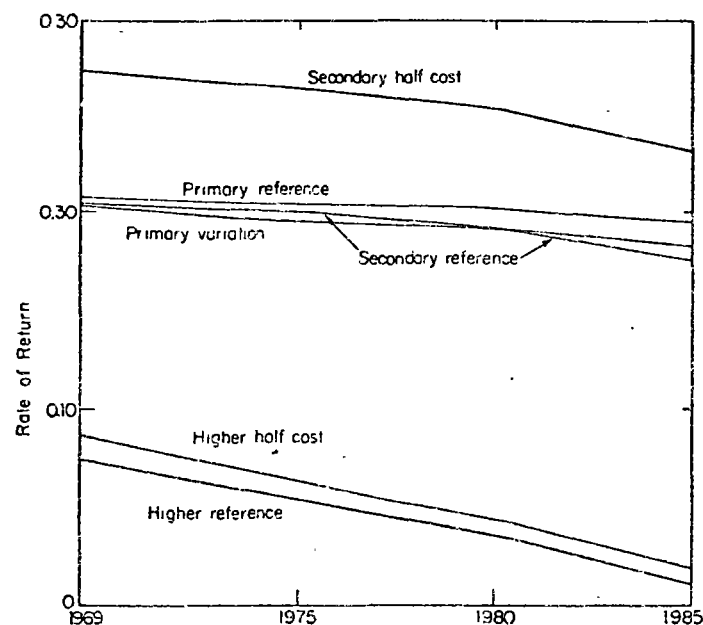


Figure 12.5

Table 12.9. The Rates of Return as Functions of σ

σ	Primary				Secondary				Higher			
	1969	1975	1980	1985	1969	1975	1980	1985	1969	1975	1980	1985
2					18.8	17.3	14.4	8.8	a	a	a	a
4	19.6	19.0	18.5	17.1	20.2	19.5	18.3	15.9	2.7	a	a	a
6	21.1	20.7	20.5	19.8	20.7	20.3	19.5	17.8	7.4	5.2	3.4	0.9
8	21.7	21.4	21.2	20.7	21.0	20.7	20.1	18.7	8.9	7.3	5.9	4.0
10	22.0	21.7	21.6	21.1	21.1	20.9	20.5	19.3	9.7	8.4	7.3	5.6
∞	23.0	22.9	22.7	22.3	21.8	21.8	21.9	21.5	12.5	12.2	11.9	10.9

^a A negative rate of return. No rate of return existed for primary education when $\sigma = 2$. The present discounted value of the series of benefits and costs was negative for all values of the discount rate.

The results of three other experiments are shown together in Figure 12.5. The primary variation curve shows the effect over time on the rate of return to primary education of increasing substantially the projection of the enrollment in the first grade. The projection assumes that all 7-year-olds are enrolled in first grade and that their number grows exponentially at a rate of 3.2 percent per year from a base of 700,000 in 1969. An adjustment is made for the backlog of students who in the past failed to enter school at age 7. It is assumed that the additional enrollment in first grade due to this source is 300,000 in 1969 and declines over the next 10 years at a rate of 30,000 per year. In the variation on the enrollment projection the figure of 700,000 was raised to 750,000, its growth rate remained the same, and the additional enrollment due to the backlog was assumed to be 400,000 in 1969, decreasing at a rate of 40,000 per year. The effect on the rate of return is to reduce it but not significantly.

The other two variations assumed that the costs of, first, secondary and, then, higher education were halved. In both of these levels the typical unit is too small. In secondary education the average number of students per school is just over 100. That inevitably means that, given the high drop-out rates, the number of students per grade, and therefore the student-teacher ratio, in grades 4 through 6 are unreasonably small. In higher education the failure of the universities to organize a division of labor among themselves has led to excessive duplication of undersized departments, again meaning unnecessarily high costs and probably a loss of quality as well.

The effect of halving the costs is much more pronounced for secondary education—whose rate of return rises from 20.7 percent to 27.7 percent for 1969—than for higher education—whose rate of return rises from 7.4 percent to 8.6 percent for the same year. This asymmetry reflects the fact that the direct costs of education are smaller, relative to the discounted values of the relevant earnings streams, for higher than for secondary education. It is also partly due to the fact that the rate of return itself is much higher for the latter.

The results of the experiments show that the rates of return to primary and secondary education are high and the rate to higher education is low, assuming that secondary and higher education maintain their present growth rates of 10 percent and 11 percent, respectively, and that enrollment in primary education accelerates so that universal primary education is attained by 1985. Under any plausible set of assumptions, the rates of return to primary and secondary education are both around 20 percent and will remain near that level for the next 15 years. By contrast, unless one assumes a very high elasticity of substitution, the rate of return to higher education is well below 10 percent and can be expected to fall substantially over time. If one assumes as low a value for the elasticity as 4, the rate of return is less than 3 percent in 1969 and rapidly becomes negative.

These conclusions suggest that secondary education should grow faster than its present rate and higher education, more slowly.

Optimizing the Enrollment Growth Rates

For the calculations discussed below the projection of the enrollment in primary education was kept fixed. Colombia would have difficulty increasing the enrollment at a rate faster than foreseen by the program; and, since the rate of return to primary education remains above the highest social discount rate considered here,

Table 12.10. Optimal Solution: Social Discount Rate Set at 10 Percent (parameters at reference values)

	Growth rates (percents)		
	1969-1978	1979-1988	1989-2008
Secondary	15	max ^a	max ^a
Higher	2	5	5
Year	Rates of return (percent)		
	Primary	Secondary	Higher
1969	22.0	19.4	10.3
1975	22.7	17.1	9.9
1980	23.4	14.8	9.9
1985	24.3	13.0	9.9

^a Until 1982 this was 15 percent per year. After 1982 this was the growth rate of primary school graduates which, according to the primary school projection, is 5.1 percent in 1982 and falls to the population growth rate of 3.2 percent per year by 1990.

In principle, as outlined in Section VII, the optimization process of the enrollment growth rates for secondary and higher education should have been executed on a year-to-year basis over the 40-year planning period. This would have required a search for the optimal values of 80 variables and, given the complexity of the analysis, was not practicable even with the aid of a large computer. In order to simplify the problem, the planning period was divided into three parts—1969-1978, 1979-1988, 1989-2008—and it was assumed that within each part the growth rate of each level of education would be constant.¹² Further, an upper bound of 15 percent per year was put on the growth rate of both levels in the belief that this would be the maximum administratively feasible.

With this drastic reduction in the complexity of the task, it was possible to search for the solutions on a trial-and-error basis. The solutions thus obtained are suboptimal but have the advantage of suppressing the unevenness that year-to-year optimization might have yielded.

The solution using the reference values for the key parameters and a discount rate of 10 percent is shown in Table 12.10. Secondary education grew at the maximum rate until 1982, when the number of students entering secondary school became equal to the number of primary school graduates the previous year. After 1982 the growth of secondary education was limited to the growth of the supply of primary school graduates.

The descent in the rate of return to secondary education is caused by the rapid increase in the supply of category 5 of the labor force, due more to the reduction in the absorption of secondary school graduates by higher education than to the increase in the rate of their formation.

12. The third subperiod was made twice as long as the other two on the ground that the results for those years would be of less interest.

It was assumed that higher education should have a nonnegative growth rate. If the social discount rate is raised to 15 percent, the lower bound of zero growth is attained. The rate of return is 11.6 percent in 1969, and by 1985 it still will not have reached 15 percent. Secondary education grows at its maximum rate for the first period and then should show slightly slower growth¹³ for the few years until it reaches the primary graduate supply constraint.

If the elasticity of substitution is lowered to 4 and the social discount rate set at 10 percent, the growth rate of higher education should be approximately 2 percent in each period. Secondary education should be at its maximum growth rate until it becomes equal to the supply of primary graduates.

Finally, the optimal rate of growth was calculated for higher education, assuming that direct costs could be cut to half their present levels. With the elasticity of substitution equal to 6 and a social discount rate of 10 percent, the optimal growth rate would be roughly 5 percent for each period. This is hardly different from the solution shown in Table 12.10 and indicates again that direct costs are relatively unimportant in the evaluation of higher education.

IX. Conclusions

The extension to the rate of return approach described in this paper has made it possible to calculate in quantitative terms optimal enrollment projections for Colombia. Since the methodology thus provides an alternative to the manpower requirements approach to educational planning, it may be worthwhile to point out the essential differences between the two.

The manpower requirements approach, in its usual fixed coefficients form, implies that there is a zero elasticity of substitution between different categories of labor. The rate of growth of the demand for each type of labor can thus be calculated given the rate of growth of output of each industry and the rate of increase of productivity within it. Given the projection of aggregate demand for each kind of labor, one can derive the need for education. No attempt is made to value this need or to place costs on the manpower bottlenecks or surpluses that would arise if the actual growth of the educational system is different from the required growth. There is therefore no way in which one may evaluate the return to the investment of real resources in education.¹⁴

The present technique assumes that there is sufficient substitutability between different types of labor for their supplies to be absorbed by the labor market. The projection of the educational system determines the supplies, and the demands are equated to them by movements of relative wage rates. The concept of "manpower requirements" thus loses most of its significance. This, of course, does not imply that any projection of the growth of the educational system is as good as another. The technique takes into account explicitly the diminishing returns effect of the growth of the educational system on its own profitability, and this feedback can be used to calculate the optimal enrollment projections and the derived optimal supply projections for the different kinds of labor.

13. The exact rate of growth was not calculated.

14. It could be done if the analysis were imbedded in an optimizing model, for example, a linear programming model. But to my knowledge this has never been done. I am indebted to Robert Repetto for this point.

The results for Colombia show that, for the next 10 years at least, the country should accelerate the rates of growth of primary and secondary education and, unless the social discount rate used is very low, should cut back the growth of higher education. Even if the forced march towards universal primary education were implemented, the rate of return to primary school would remain around 20 percent for the next 15 years. Similarly, even if secondary education were to grow at 15 percent per year for the next 10 years, and even if one makes the pessimistic assumptions that the present inefficient student-teacher ratio and the high drop-out rates are not improved, the rate of return would remain around 20 percent for the next 15 years. If it were possible for secondary education to grow at a faster rate without reducing the quality of instruction, this would certainly be justified. Eventually, of course, the growth of secondary education would be limited by the supply of primary school graduates.

On the other hand, the rate of return to higher education is low. If the present growth rate of 11 percent per year were maintained, the rate of return would be less than 10 percent now and would fall over time, probably approaching zero by 1985. If the present mix of courses remains unchanged, higher education should grow at no more than 5 percent per year for the next 10 years if one assumes a social discount rate of 10 percent; it should not grow at all if one assumes a social discount rate of 15 percent. If one were to assume a social discount rate as low as 5 percent, the present growth rate would be justified until 1975 but should be reduced substantially after that date.

It should be remembered that the calculations for higher education were made on the assumption that the present mix of courses will not change. Doubtless, many of the courses yield much higher rates of return than that for higher education as a whole. If these courses were identified and future growth restricted to them, then the university system would be justified in growing faster than suggested in the preceding paragraph.

Finally, it should be emphasized that the analysis here has been confined to the narrowly economic aspects of education. The policy-maker should modify the recommendations above, taking into account the social and political aspects of education, particularly its role in the redistribution of income and in increasing social mobility. Nonetheless, it is unlikely that the basic findings of this paper (that primary and secondary education should be expanded as fast as possible for at least the next 10 years) would be changed by such considerations.

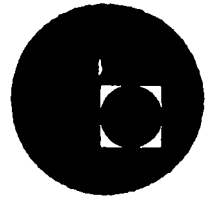
Appendix to Chapter 12 Some Problems with the Use of the Aggregate Labor Index

In the analysis two strong implicit assumptions have been made:

1. separability between labor and all other factors of production in the aggregate production function
2. separability between the different categories of labor within the aggregate labor index



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



ANALISIS DE INVERSIONES

TEMA: MODELOS DETERMINISTICOS ESTATICOS.

PROF. ACT. CARLOS AYALA E IZAGUIRRE.

Abril, 1978.

ANALISIS DE INVERSIONES

MODELOS DETERMINISTICOS

1. INTRODUCCION
2. PROGRAMACION MATEMATICA
 - 2.1 EL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL
 - 2.2 EL PROBLEMA DUAL
 - 2.3 EXTENSIONES DE LA PROGRAMACION LINEAL
3. SISTEMAS DE PROGRAMAS ORIENTADOS A LA RESOLUCION DE PROBLEMAS DE PROGRAMACION MATEMATICA
 - 3.1 MPSX
 - 3.2 OPTECH
4. DECISIONES DE INVERSION
 - 4.1 EL METODO DE LA PROGRAMACION MATEMATICA
 - 4.1.1 MODELOS DIVISIBLES
 - 4.1.2 MODELOS INDIVISIBLES
 - 4.2 EL MODELO DE PROGRAMACION DE METAS
 - 4.3 ANALISIS DE INSUMO-PRODUCTO Y PROGRAMACION LINEAL
 - 4.3.1 PLANTEAMIENTO ALGEBRAICO
 - 4.3.2 COMPARACION DE SUPUESTOS
 - 4.3.3 ELECCION POR EL LADO DE LA DEMANDA
 - 4.3.4 ELECCION POR EL LADO DE LA OFERTA

1. INTRODUCCION

Dentro del marco definido por el análisis de inversiones en modelos determinísticos estáticos examinaremos las principales decisiones financieras que afronta una empresa en distintas situaciones y en diferentes etapas de su desarrollo. Identificaremos los principales tipos de decisiones, y expondremos las técnicas teóricas y analíticas más adecuadas para resolverlas.

Analizaremos algunos aspectos del análisis de inversiones que pueden estudiarse en términos cuantitativos. El enfoque cuantitativo es indispensable porque muchas decisiones financieras importantes poseen naturaleza especialmente cuantitativa. Incluso en las decisiones que son principalmente cualitativas, el análisis cuantitativo - puede ser útil para medir los factores mensurables, y por lo tanto estrechar el área de decisión que depende de una base subjetiva.

La aplicación de nuestro enfoque cuantitativo implicará el empleo de modelos matemáticos para representar los aspectos de la realidad que se vinculan con el proceso de decisión. (figura 1)

VARIABLES EXOGENAS
CONTROLABLES:
CANTIDAD A INVERTIR
SELECCION DE LOCALIZACION DEL PROYECTO
FUENTES DE FINANCIAMIENTO

VARIABLES EXOGENAS
INCONTROLABLES:
DEMANDA Y OFERTA DE LA INDUSTRIA EN CONJUNTO
POLITICA MONETARIA Y FISCAL
RECURSOS LIMITADOS

REGLAS DE DECISION

- 1, SI $r \geq K_0$ INVERTIR
- 2, SI $r < K_0$ NO INVERTIR

MODELO MATEMATICO

$$C = \frac{A_1}{(1+r)} + \frac{A_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n}$$

MODELO MATEMATICO

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n &\leq b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n &\leq b_2 \\ \dots &\dots \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n &\leq b_m \end{aligned}$$

REGLAS DE DECISION

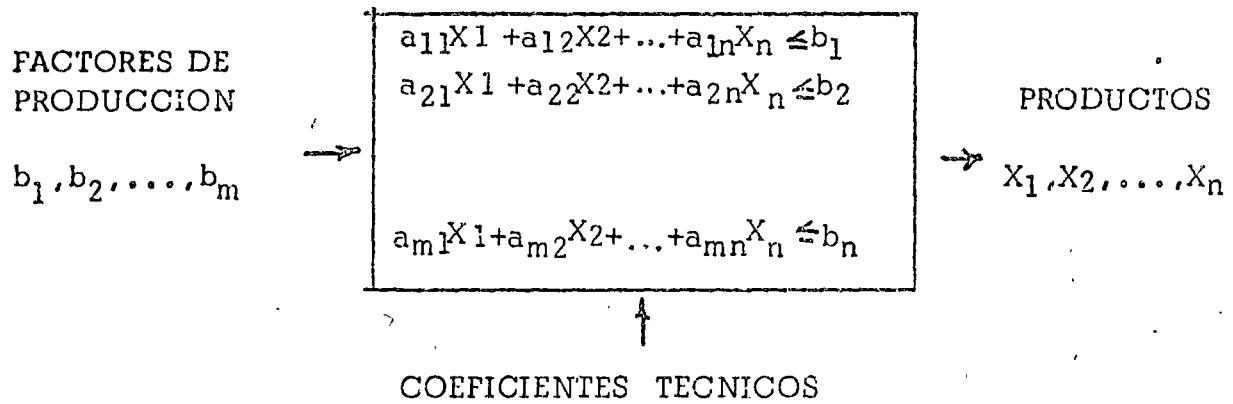
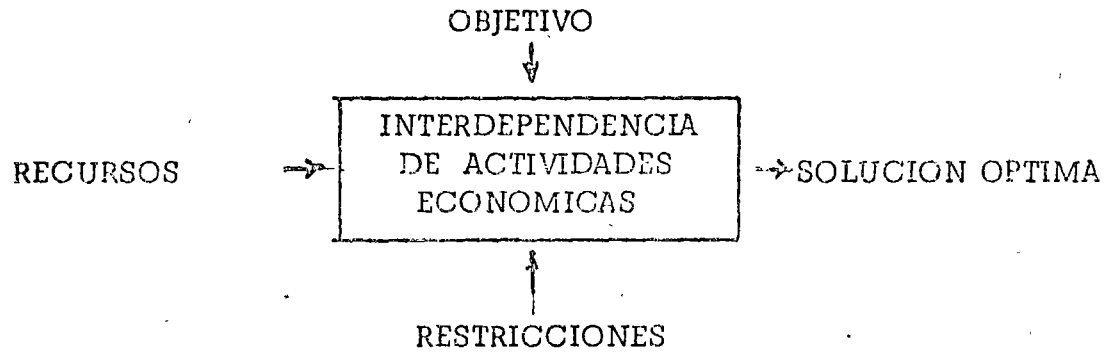
$$\text{MAX } Z = P_1X_1 + P_2X_2 + \dots + P_nX_n$$

IMPLANTACION

2. PROGRAMACION MATEMATICA

La programación matemática, está relacionada con el problema de plantear un conjunto complejo de actividades económicas interdependientes en forma tal de obtener un cierto resultado óptimo. Una característica de estos problemas es el estar sujetos a un conjunto de restricciones ocasionadas por las condiciones propias del problema y que son satisfechas por un gran número de soluciones posibles, de tal manera que la selección de la solución óptima está sujeta en cierto grado a los objetivos generales que se persiguen (figura 2).

El término programación matemática se usa además para designar a las técnicas matemáticas que pueden utilizarse en la solución de tales problemas. Desde luego, a través de los métodos de la programación matemática, se tiene un conjunto de herramientas poderoso y flexible para investigaciones teóricas y empíricas que pueden adaptarse a una gran variedad de problemas prácticos tales como la planeación de obras, distribución de mercancías, minimización de tiempos y costos de procesos industriales, asignación óptima de personal, análisis de inversiones en problemas relacionados con el presupuesto y la planeación financiera, etc.



2.1 EL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL

Formulación. Se dispone de ciertas cantidades de M factores de producción; llamaremos a estas cantidades $b_1, b_2, b_3, \dots, b_M$.

Hay N productos que se pueden obtener utilizando esos factores; las cantidades (todavía sin determinar) de estos productos serán $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$. Hay coeficientes técnicos fijos, es decir, la cantidad necesaria de cada factor para obtener una unidad de cada producto está dada. La cantidad del factor i -ésimo necesaria para obtener una unidad del producto j -ésimo la llamamos a_{ij} . (figura 2).

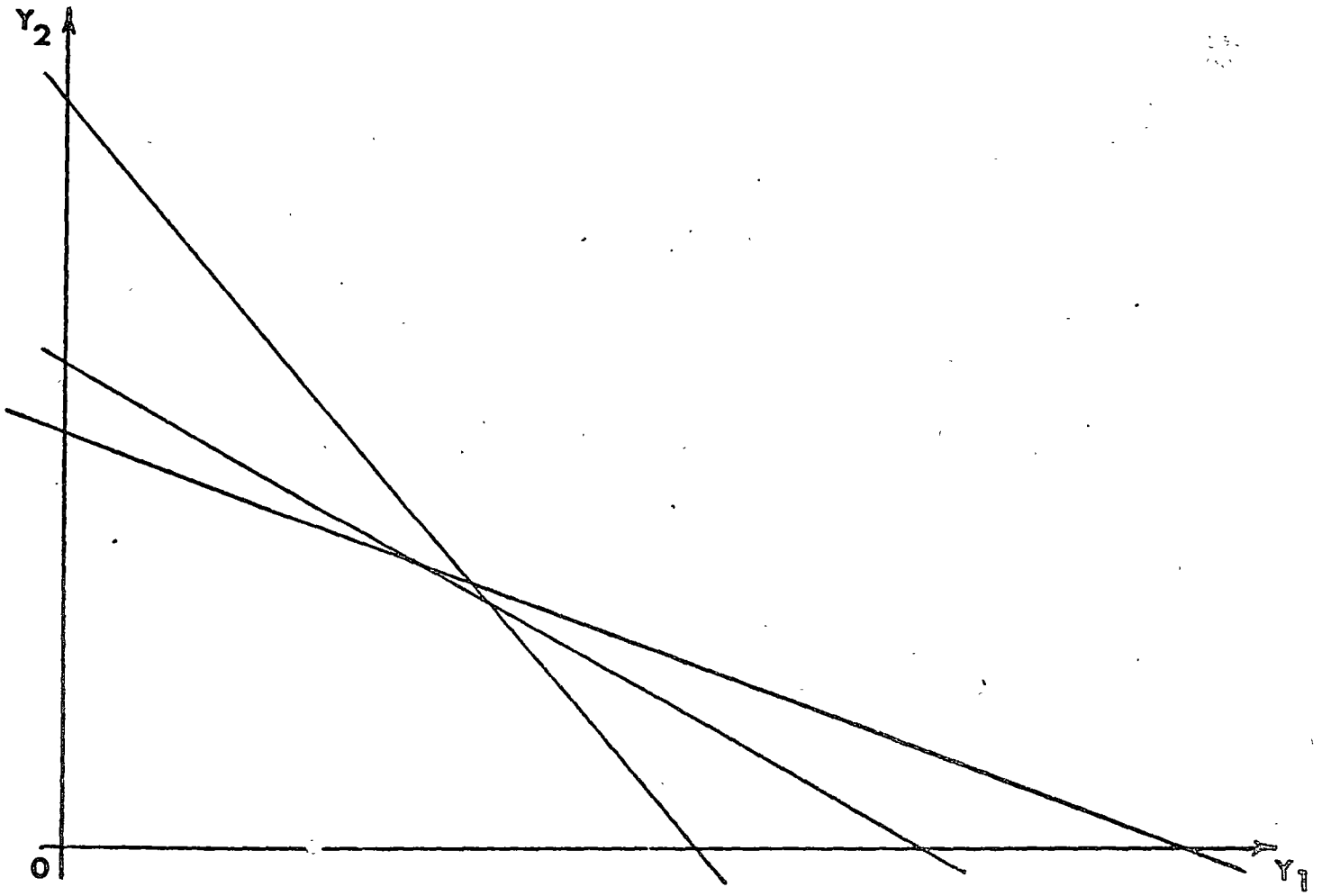
Está claramente implícito, cuando el problema se plantea en estas condiciones, que las constantes (las a y las b) deben obedecer a ciertas restricciones si han de tener cierto sentido económico. Aunque esas restricciones parecen tremendamente obvias, tropezaríamos con serias dificultades si no las consignásemos: 1) Toda b_i tiene que ser positiva. 2) Los coeficientes técnicos a_{ij} no pueden ser negativos; sin embargo, podemos admitir que algunos de ellos sean cero; no todo factor ha de ser requerido para cada producto. 3) Pero alguna cantidad de un factor por lo menos tiene que ser necesaria para cada producto.

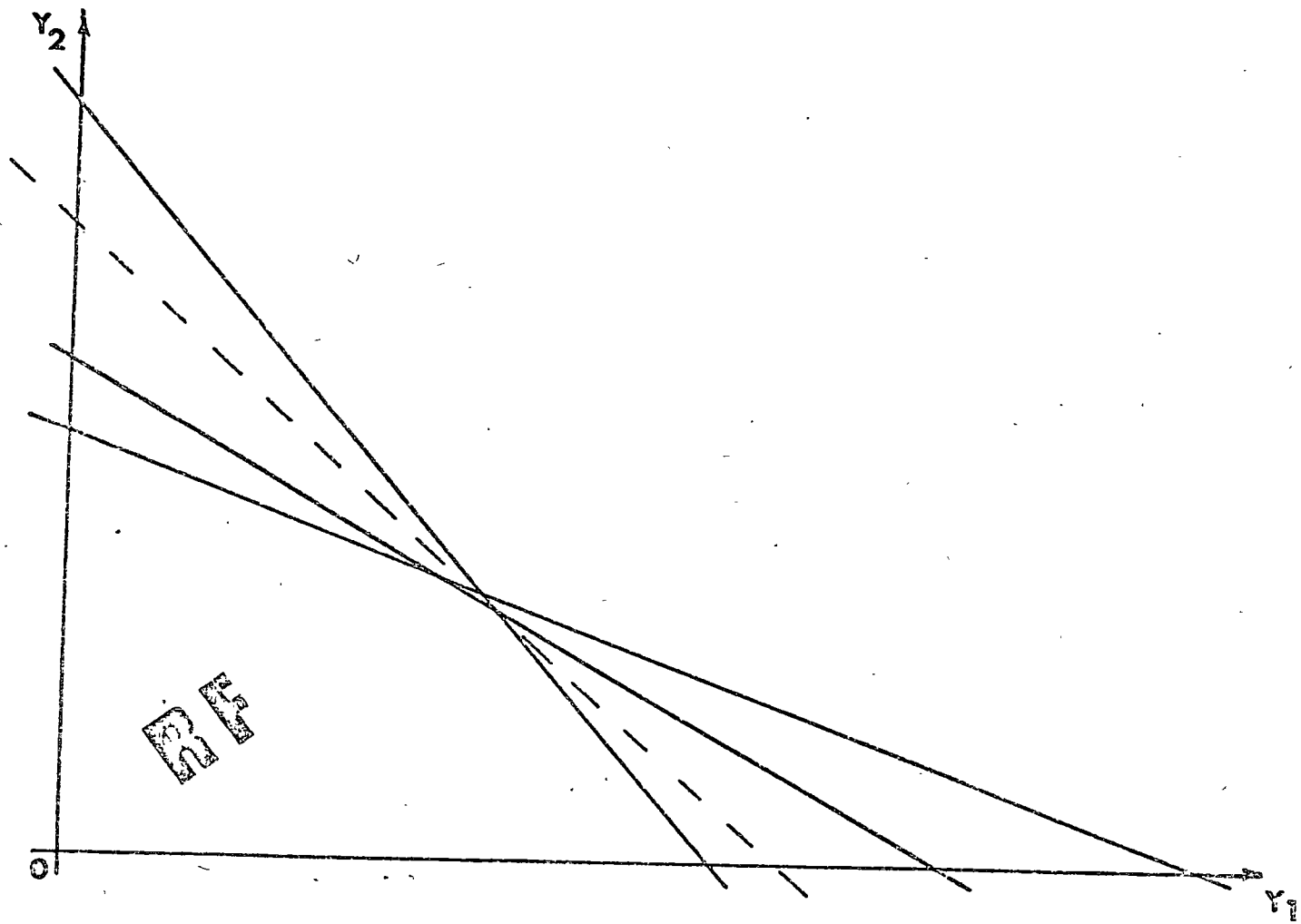
Si un conjunto de resultados (x_1, x_2, \dots, x_n) ha de ser factible, tiene que satisfacer dos conjuntos de restricciones (figura 3). Primero, ningún x_j puede ser negativo (aunque algunos o todos pueden ser cero); esto nuevamente parece obvio, pero es vital que tales cuestiones obvias no se pasen por alto. Segundo, la cantidad de cualquier factor que se requiera para producir el conjunto de resultados en ningún caso ha de exceder a la cantidad disponible de ese factor. En otros términos el conjunto de resultados deberá estar comprendido en la región definida, por las restricciones (figura 4); llamémosla región factible.

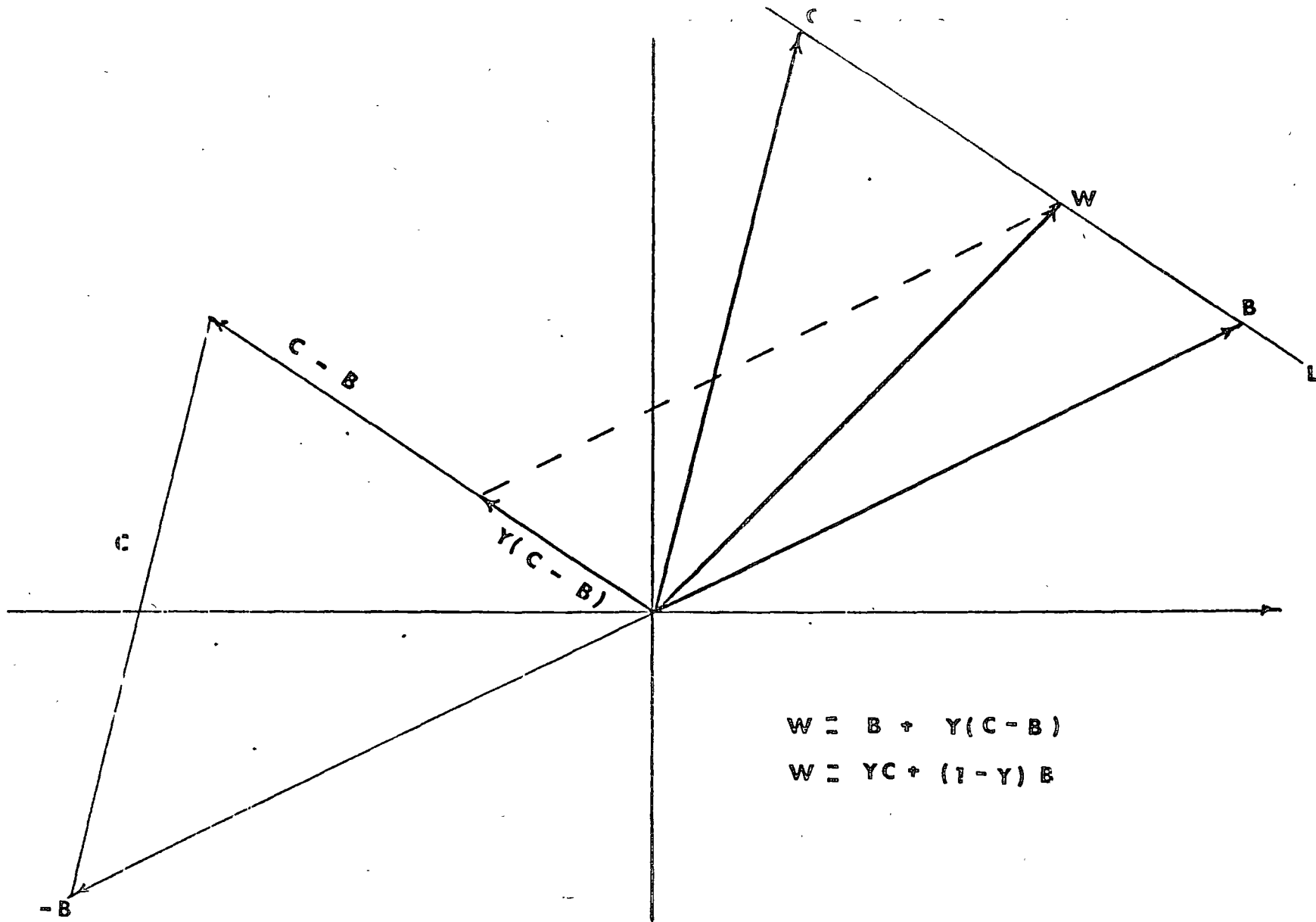
Ahora sería posible plantear el problema que tenemos ante nosotros, tratando de buscar una determinación de todas las soluciones factibles, pero de todas ellas, las que están sobre la frontera son las verdaderamente interesantes; solo esas son las que, en un sentido u otro, maximizan la producción. (figura 5).

La manera de distinguir estas soluciones consiste en decir que, si los productos se valoran a precios fijos (p_1, p_2, \dots, p_N) , el valor de la producción $(\sum p_j x_j)$ tiene que hacerse máximo.

Una consideración de estos modelos muestra que pueden dividirse en dos partes: Una, que describe la estructura de la opera-



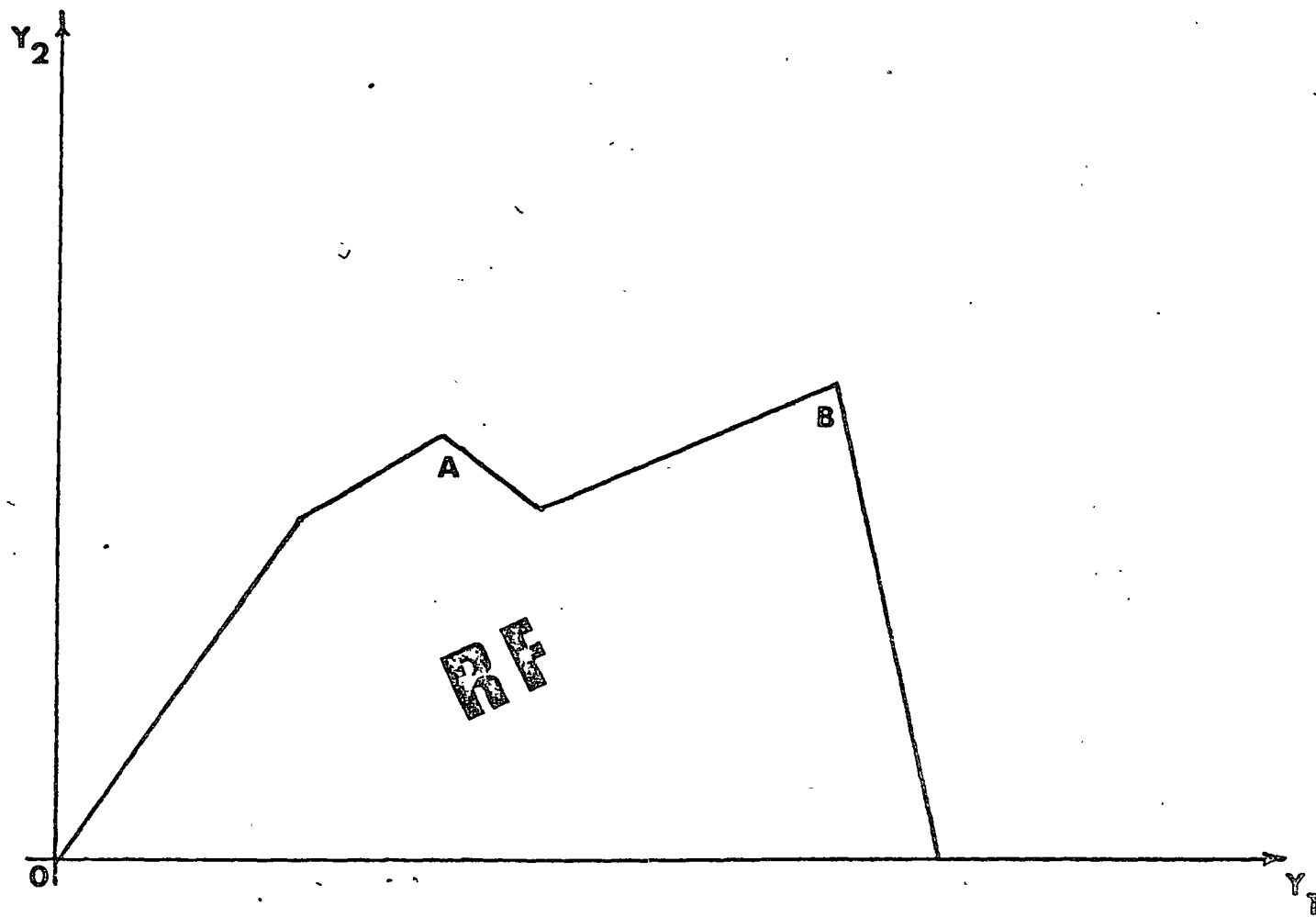




ción y las relaciones entre variables (tanto controlables como incontrolables), y otra, que valora las consecuencias de cualquier elección de variables en términos de beneficio, costo o cualquier otra medida de deseabilidad. La primera parte se refiere a las restricciones y la segunda a la función o criterio de objetivo. Estos problemas revisten la forma de búsqueda de los valores de las variables a decidir que hacen máximo o mínimo el valor de la función objetivo al mismo tiempo que satisfacen las restricciones.

Convexidad. Si existe una región factible ha de ser convexa; en el sentido de que dados dos puntos cualesquiera de la región, los puntos de la línea que los une han de estar también en dicha región (figura 6) Esta limitación persiste en todas las formas de la teoría lineal; ya que en regiones no convexas se presenta el problema de tomar (equivocadamente) un óptimo parcial como el óptimo global.

Es oportuno a esta altura consignar un ejemplo numérico, considere pues el siguiente (figuras 7-12).



	M_1	M_2	M_3
P_1	11	7	6
P_2	9	12	16

$$M_1 ; 9900$$

$$M_2 ; 8400$$

$$M_3 ; 9600$$

$$\text{GANANCIA UNITARIA: } P_1 ; 900$$

$$P_2 ; 1000$$

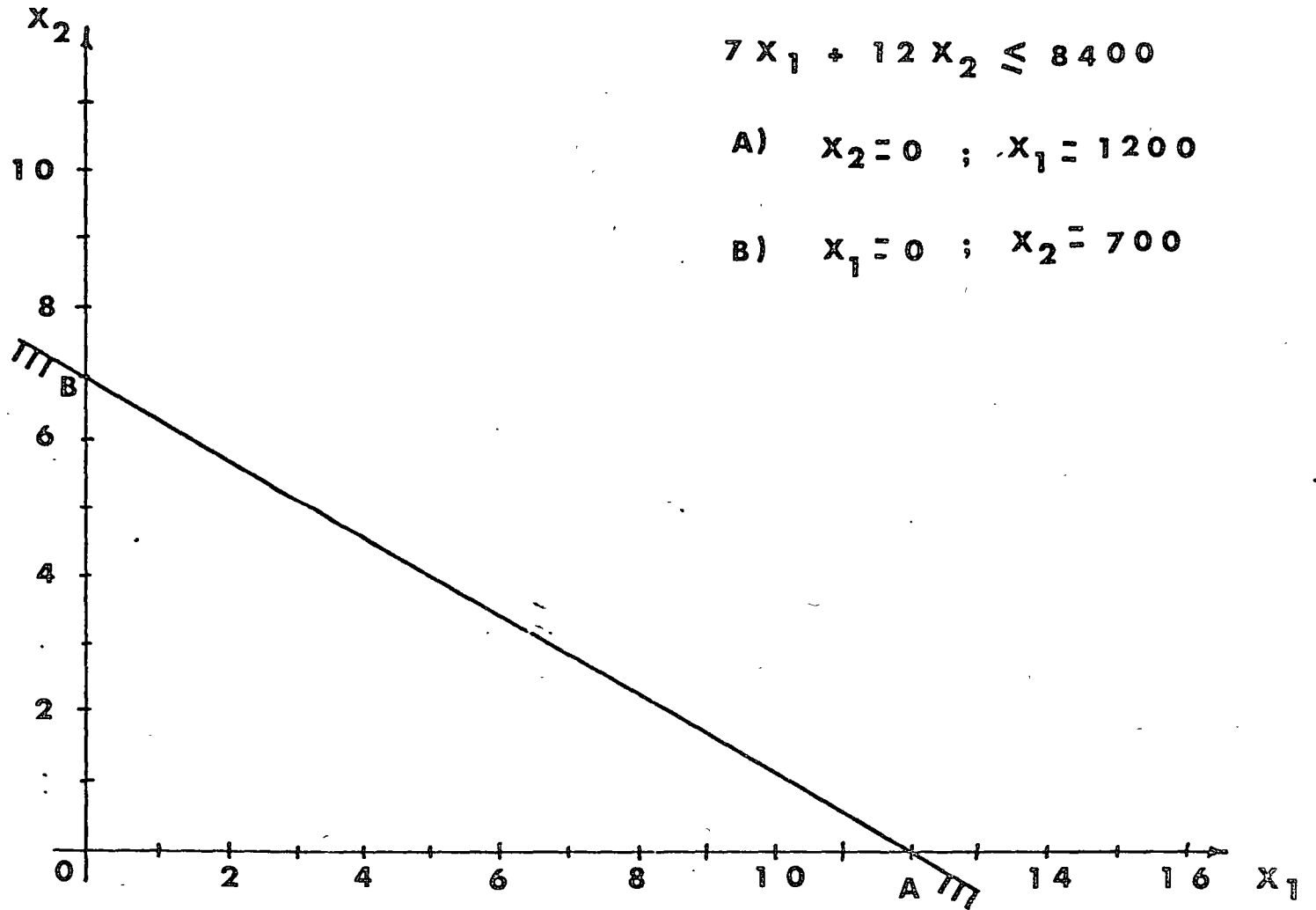
$$11X_1 + 9X_2 \leq 9900$$

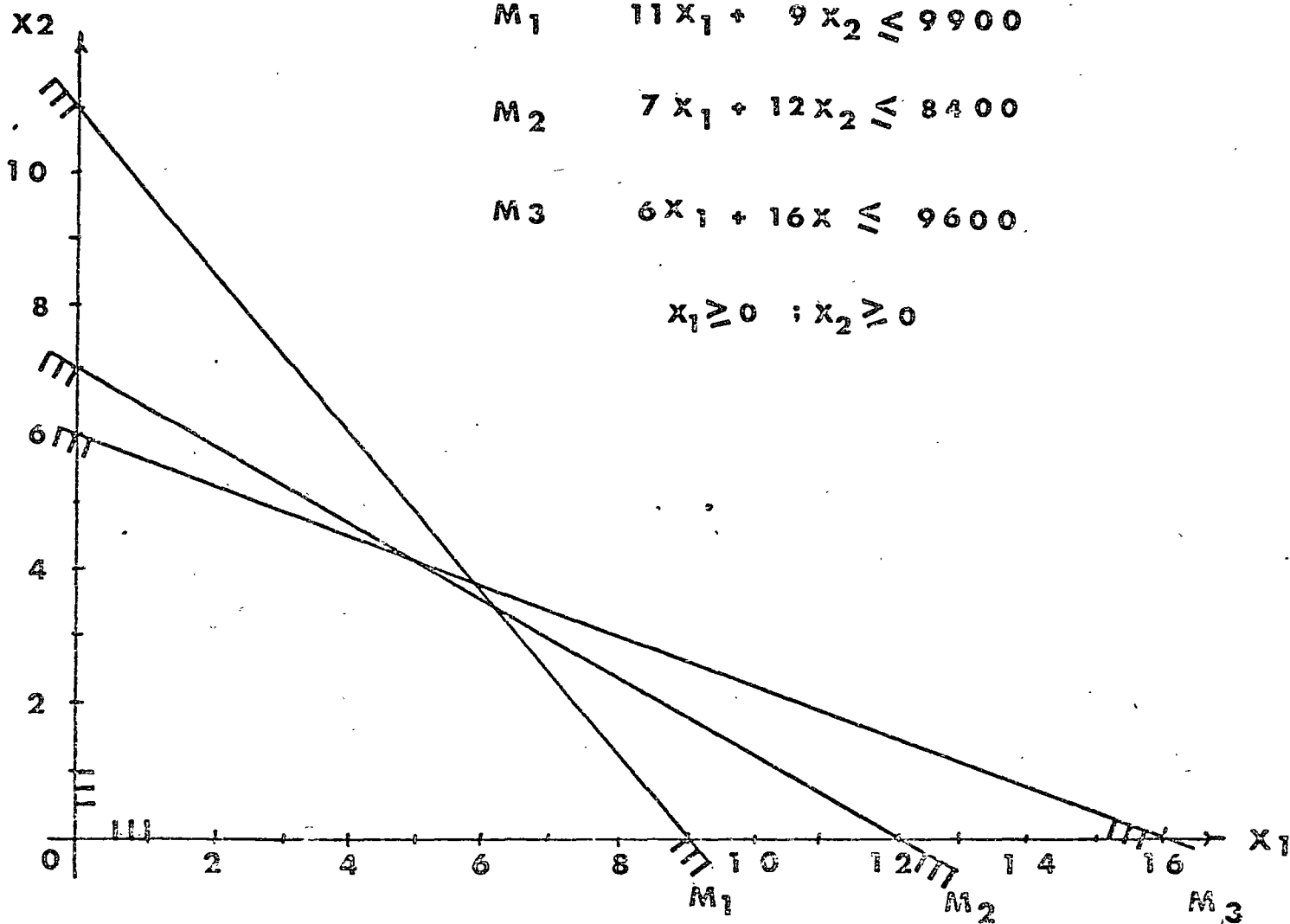
$$7X_1 + 12X_2 \leq 8400$$

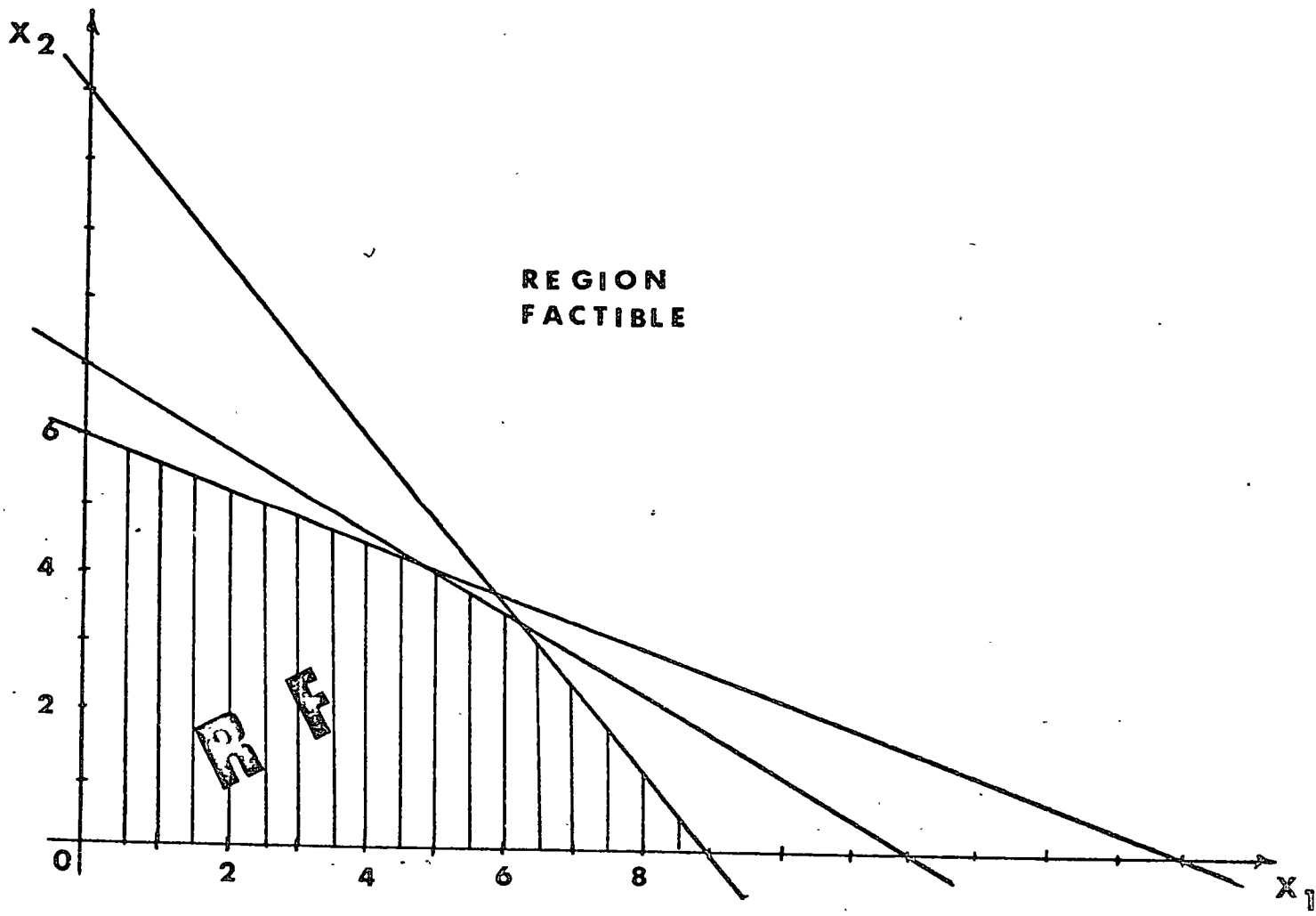
$$6X_1 + 16X_2 \leq 9600$$

$$\text{MAX}(Z = 900X_1 + 1000X_2)$$

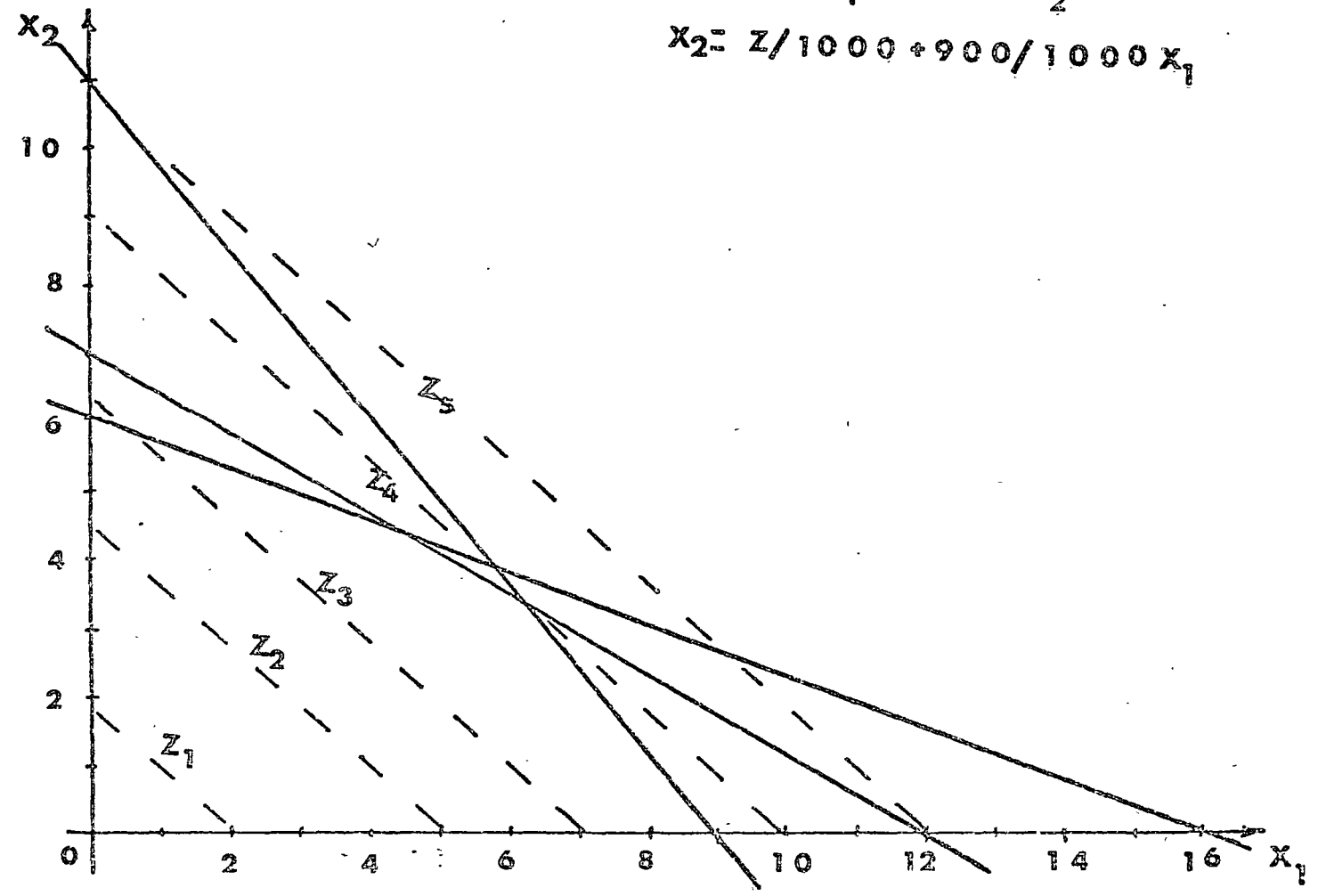
$$\text{EN DONDE } X_j \geq 0$$

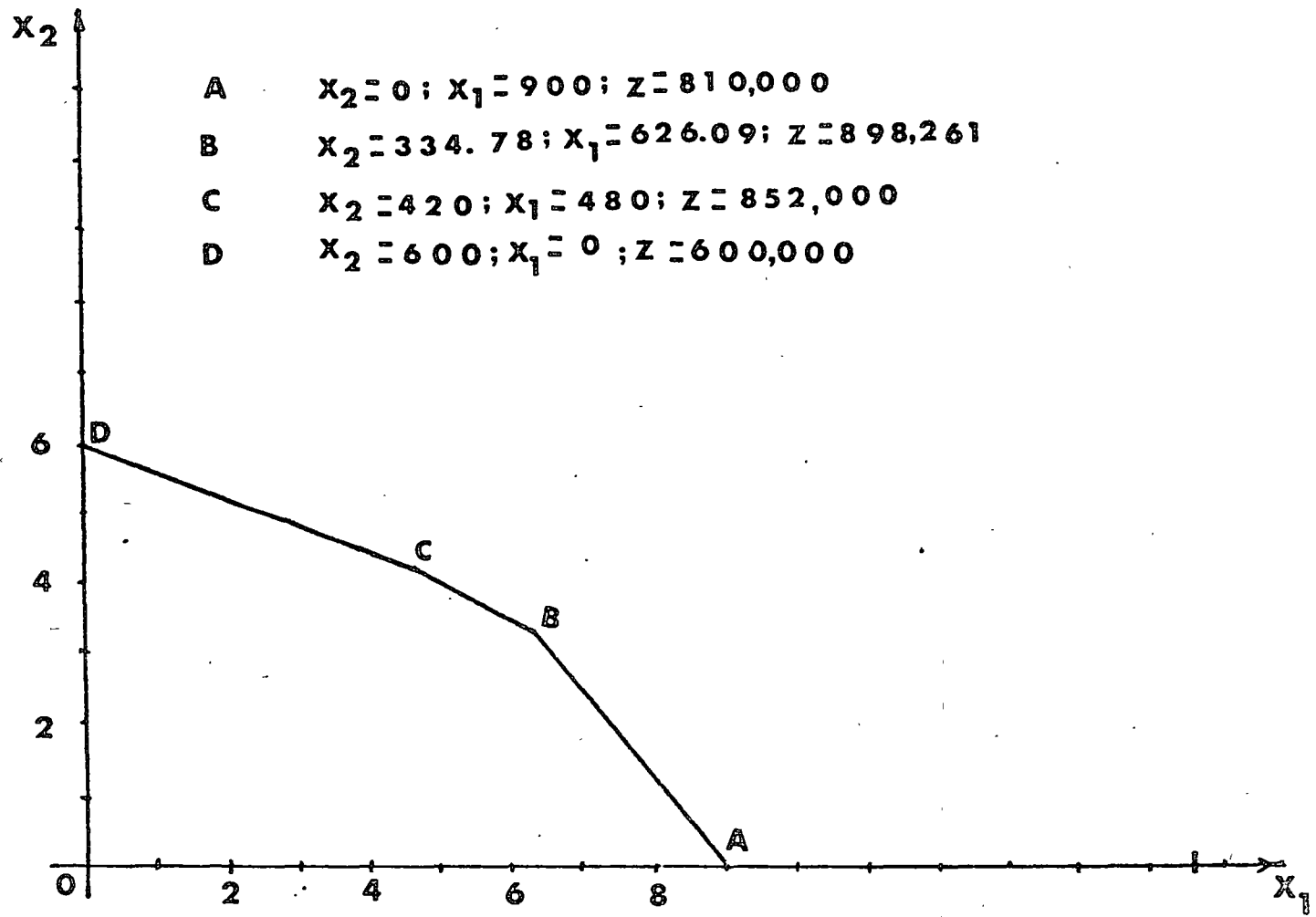






$$Z = 900X_1 + 1000X_2$$
$$X_2 = Z/1000 + 900/1000X_1$$





- A $X_2 = 0; X_1 = 900; Z = 810,000$
- B $X_2 = 334.78; X_1 = 626.09; Z = 898,261$
- C $X_2 = 420; X_1 = 480; Z = 852,000$
- D $X_2 = 600; X_1 = 0; Z = 600,000$

2.2 EL PROBLEMA DUAL

Por lo que se refiere a la determinación del óptimo, queda completa la teoría del prototipo; sin embargo, todavía no hemos hablado del avance más notable de la teoría. Este se refiere a la determinación de los precios de los factores.

Considere, por un momento, un modelo de dos factores y dos productos como el de la figura 13. Correspondiendo a las ecuaciones.

$$a_{11} u_1 + a_{12} u_2 \leq b_1, \quad a_{21} u_1 + a_{22} u_2 \leq b_2$$

(que hacen que las producciones parezcan depender sólo de los coeficientes técnicos y de los factores), hay ecuaciones de precios y costos (no hay ningún beneficio que no pueda ser imputado a algún factor); estas serán

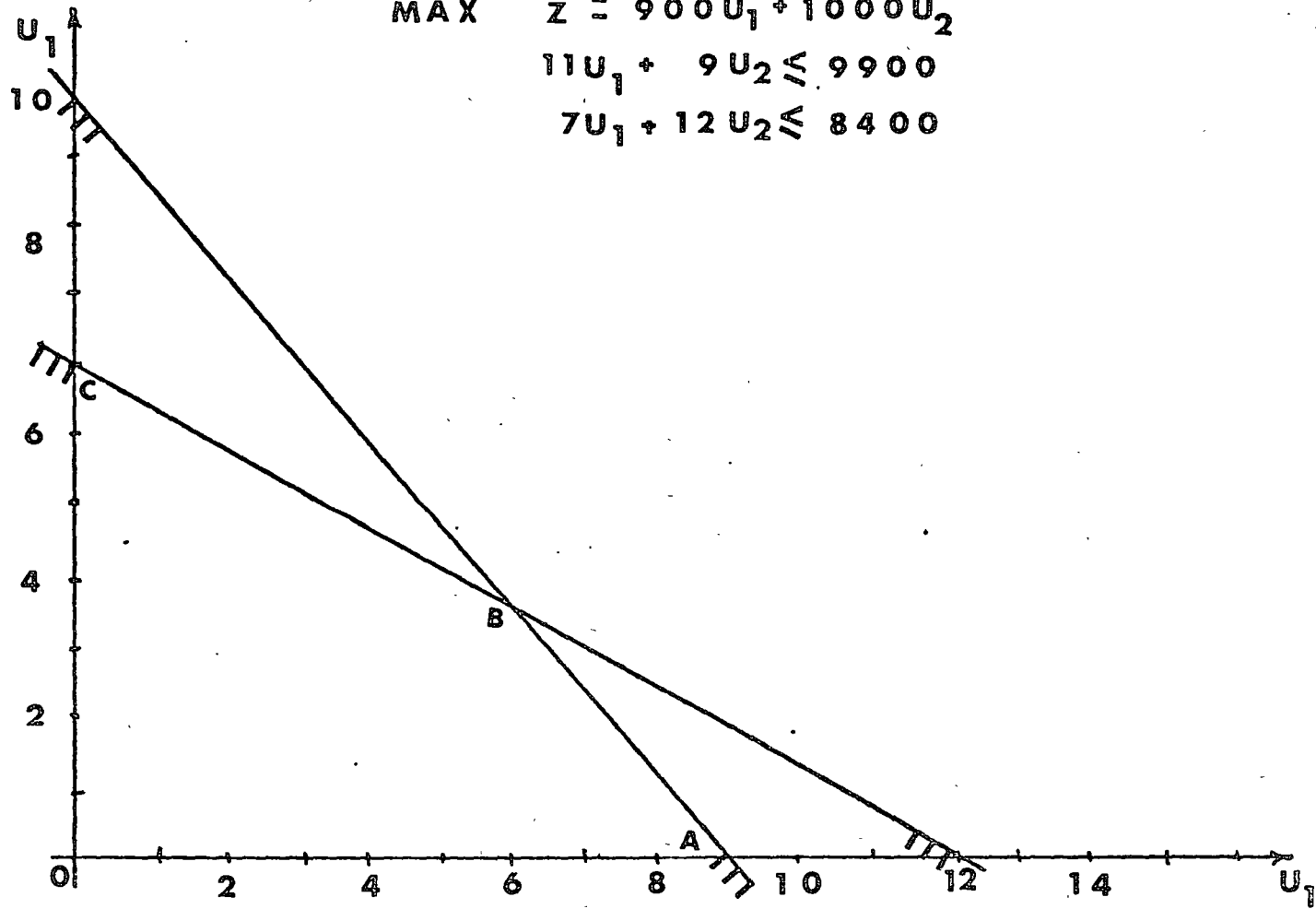
$$a_{11} v_1 + a_{21} v_2 \geq p_1, \quad a_{12} v_1 + a_{22} v_2 \geq p_2$$

Tomadas por sí solas, parecen ser que los precios de los factores v_1 y v_2 dependan sólo de los precios de los productos y de los coeficientes técnicos. (figura 14).

El objetivo en el primer par de ecuaciones consiste en maximizar el valor de la producción ($\sum p_j u_j$). En cambio para el segundo par el objetivo consiste en minimizar los precios de los factores ($\sum b_j v_j$).

PRIMAL

$$\begin{aligned} \text{MAX } Z &= 900U_1 + 1000U_2 \\ 11U_1 + 9U_2 &\leq 9900 \\ 7U_1 + 12U_2 &\leq 8400 \end{aligned}$$

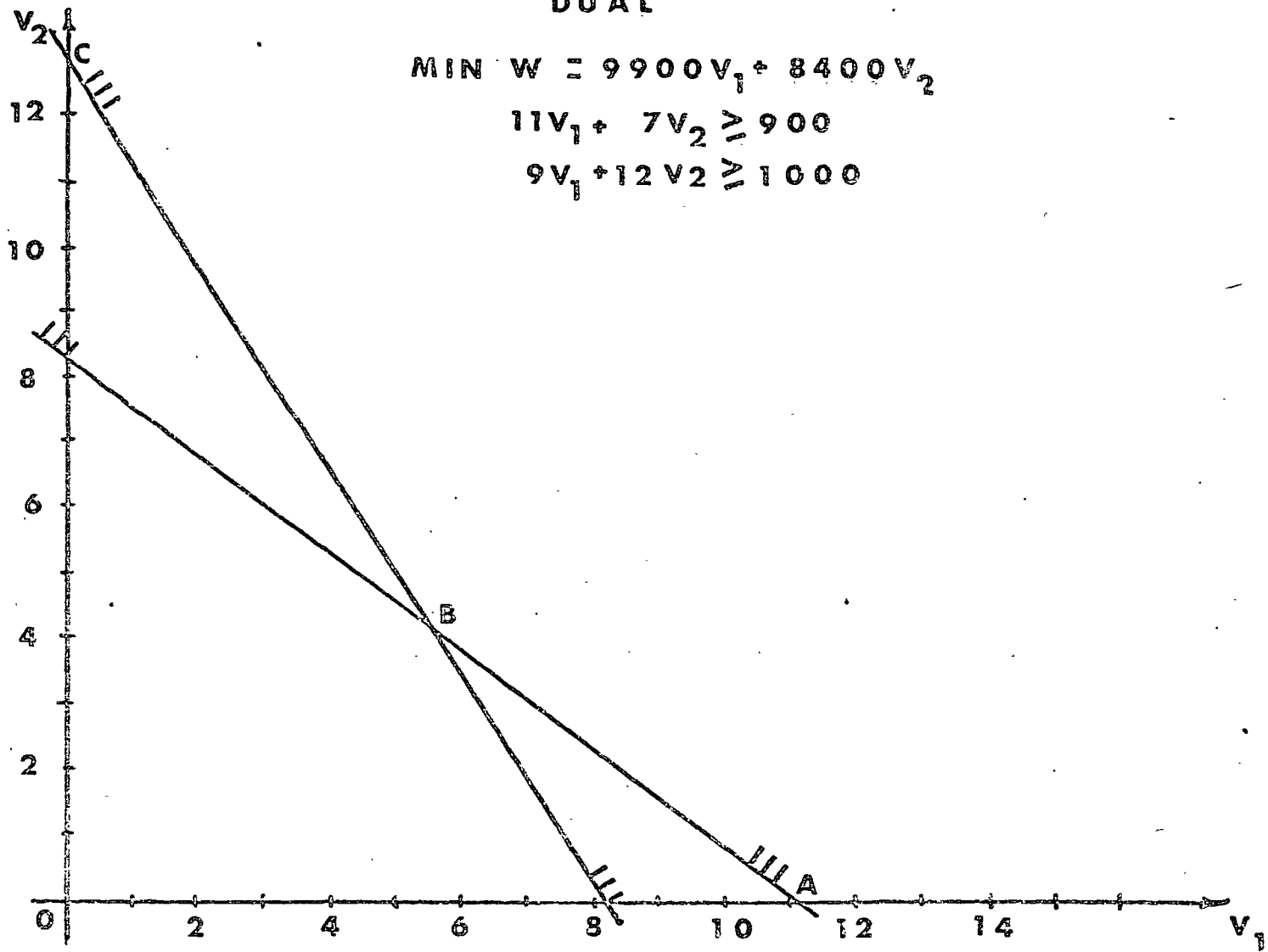


DUAL

$$\text{MIN } W = 9900V_1 + 8400V_2$$

$$11V_1 + 7V_2 \geq 900$$

$$9V_1 + 12V_2 \geq 1000$$



2.3 EXTENSIONES DE LA PROGRAMACION LINEAL

Se recordará que en nuestra formulación del modelo de programación lineal, empezamos imponiendo ciertas restricciones a las constantes. Las a tenían que ser no-negativas (con la condición de que algún factor ha de ser necesario para cada producto); las b tenían que ser positivas; y después había la regla suplementaria de que las p tenían que ser no-negativas (pero no todas cero). Aunque estas restricciones eran útiles para -empezar, puede que se haya advertido que, al final de nuestra discusión, estaban resultando bastante débiles. El problema de la minimización, que apareció como dual, podría haberse expresado como un problema de maximización, de la misma forma que el original (o "primal" como ha venido ha ser llamado) pero, en tal caso, los signos de todas las constantes hubieran debido ser cambiados. Dábamos por sentado que un problema de esta clase podría tratarse casi de la misma manera. Pero esto plantea una pregunta más amplia: ¿Necesitamos imponer alguna restricción a las constantes?.

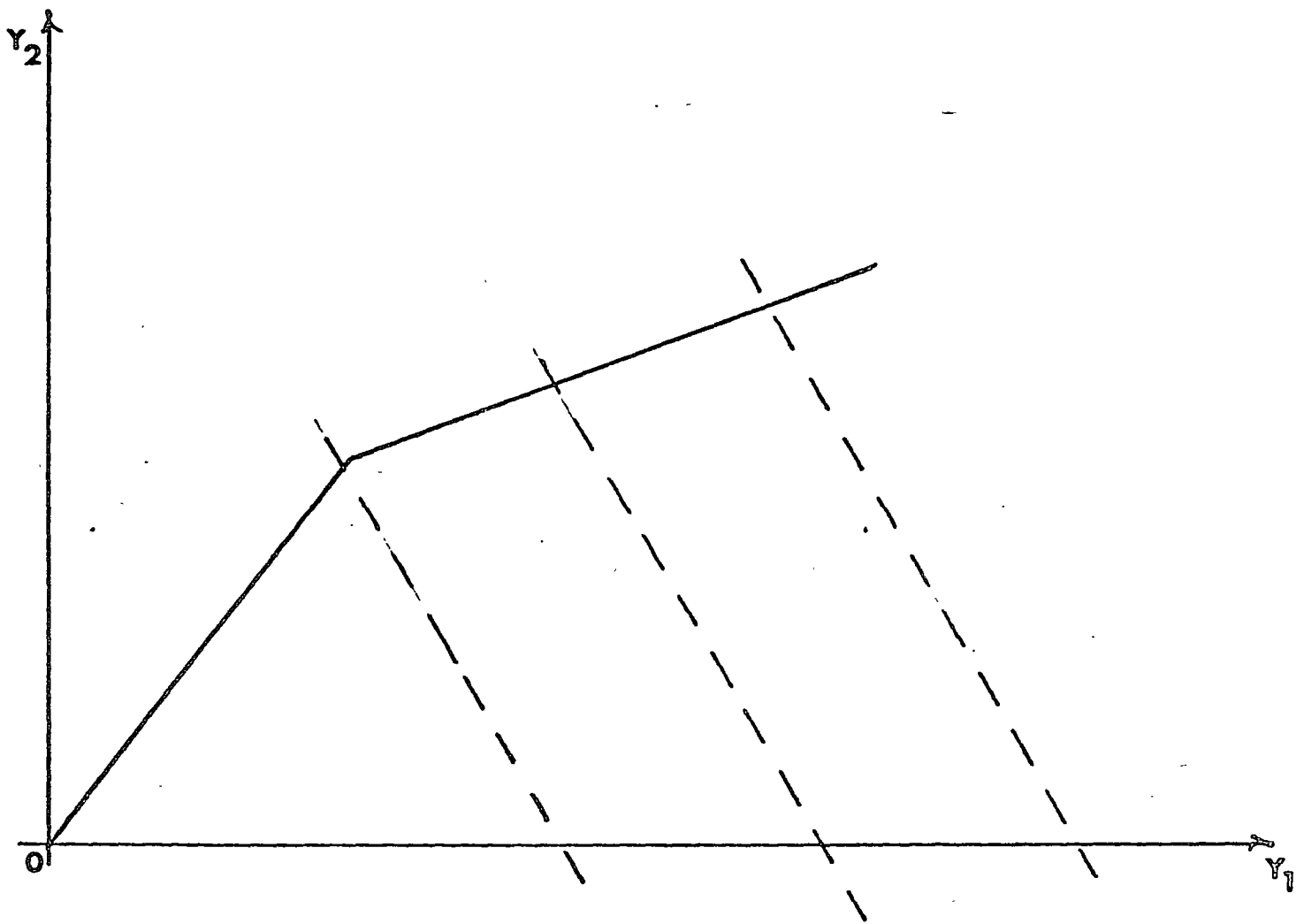
Matemáticamente, la respuesta es negativa. La principal dificultad que surge si se hace esto, es que hemos de tener en cuenta algunas posibilidades secundarias. En primer lugar,

si no se establecen restricciones sobre las constantes, es posible que pueda no haber ninguna solución factible, ninguna región factible.

En segundo lugar, aún cuando hubiera una región factible, no es necesario que fuera optimizable para una función objetivo dada. Evidentemente, podría darse el caso de que z aumentara indefinidamente. (figura 15).

Ninguna de estas cosas puede ocurrir aceptando las restricciones iniciales; no puede ocurrir con el problema primal, ni puede ocurrir con el problema dual (es importante hacerlo notar). Este es un caso particular de un teorema general: El teorema de la dualidad, que dice que si existe un óptimo para el primal, también existe para el dual. Hay también una ampliación del teorema que enlaza las dos excepciones: dice que si el primal, aunque factible, no es optimizable, el dual no será factible. Puesto que ambos problemas (naturalmente) pueden considerarse como primales, la correspondencia se cumple (en cierto modo) en ambas direcciones.

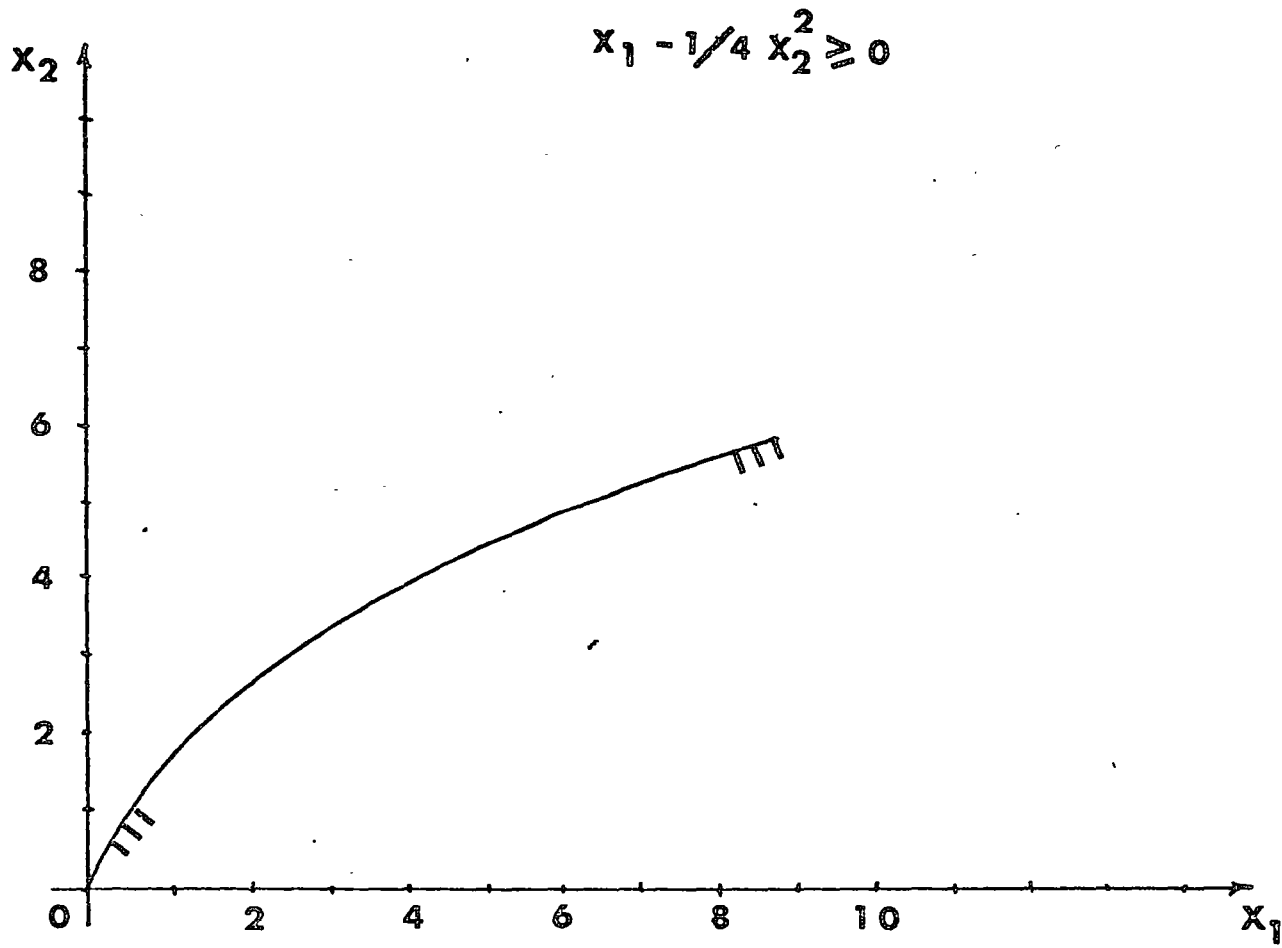
PROGRAMACION ENTERA. Se consideró hasta ahora la restricción de no-negatividad a las cantidades de los productos, este supuesto clasifica a los problemas con esta propiedad dentro de

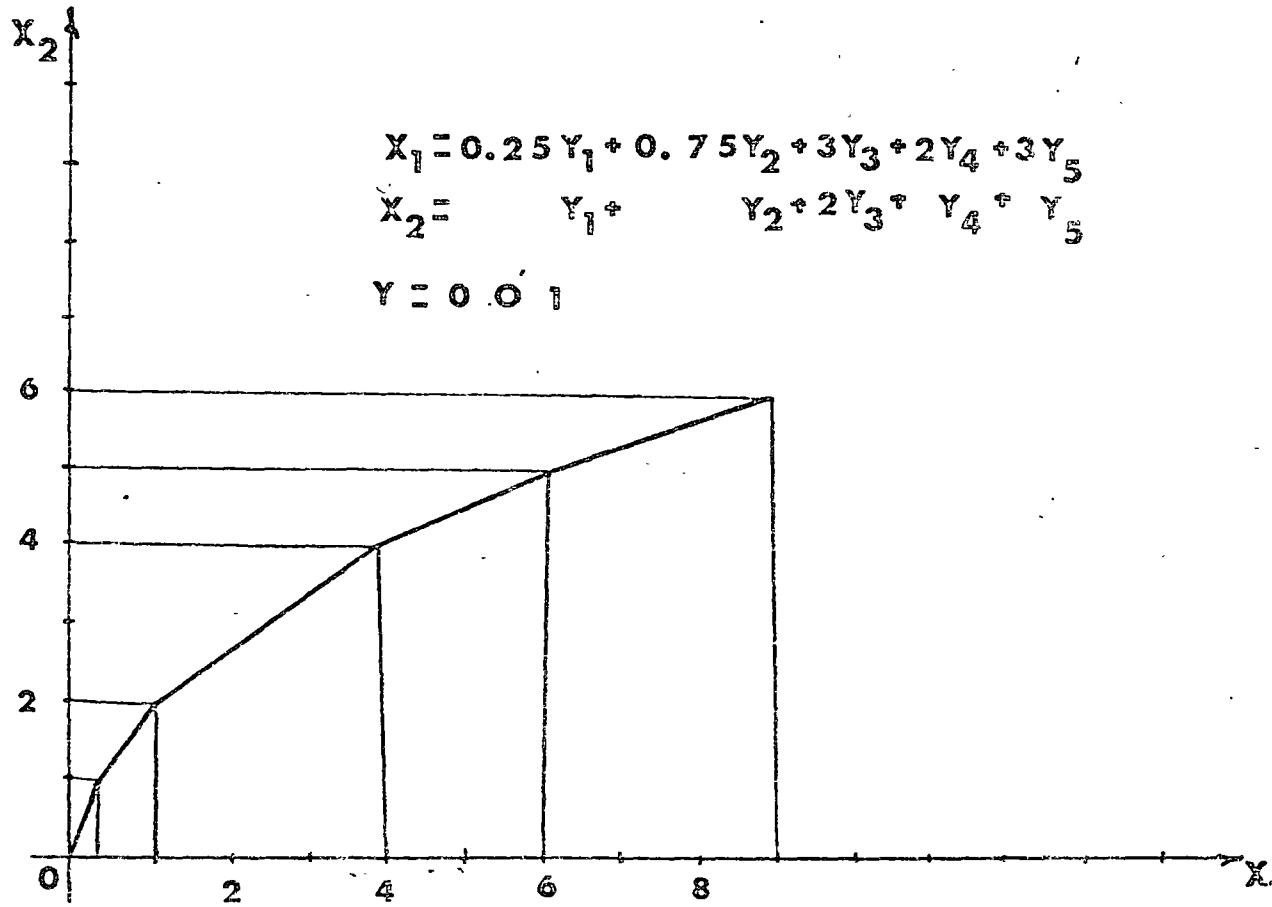


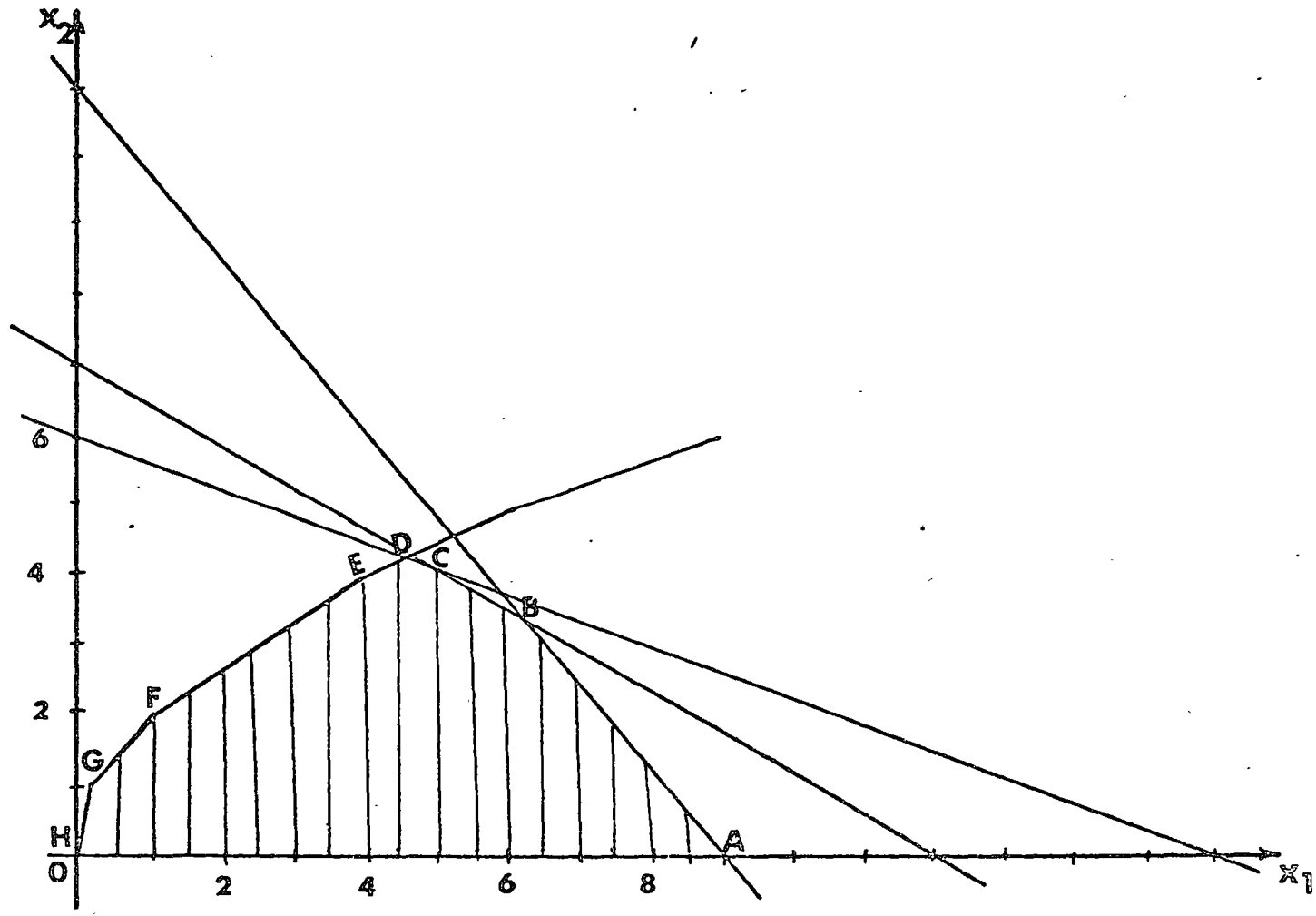
la programación continua. Sin embargo, con frecuencia se presentan situaciones en las cuales esta restricción debe limitar, aún más, a las cantidades de los productos a que estas sean variables enteras.

Esta limitación no se debe a otra cosa sino a la naturaleza propia del problema. Un artificio que proporciona buenos resultados en la selección de proyectos o en el análisis de inversiones, entre otros, es la utilización de la programación binaria que restringe a las variables involucradas en el modelo, a tomar los valores de cero o uno, determinando así el rechazo o la aceptación de un proyecto.

PROGRAMACION NO-LINEAL. Una extensión aún mayor de la programación matemática es considerar dentro de las restricciones o la función objetivo como ecuaciones no lineales (figura 16). Esta clase de problemas se plantean de manera análoga a los anteriormente analizados sin embargo, difieren en cuanto a la mecánica de resolución. Una manera alternativa de plantear estos problemas es mediante la programación separable, que consiste en, como su nombre lo indica, separar una curva en un número múltiple de líneas rectas. (figura 17-18).







3.1 M P S X

SOLUCION FACTIBLE, NO = FACTIBLE, OPTIMA

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

PARAMETRIZACION

- PROGRAMACION CONTINUA

NUMERO DE VARIABLES ILIMITADO

NUMERO DE RESTRICCIONES ILIMITADO

- PROGRAMACION ENTERA, MIXTA

NUMERO DE VARIABLES 4,095

NUMERO DE RESTRICCIONES ILIMITADO

INTERVALO DE LAS FRONTERAS + 32,767

- PROGRAMACION ENTERA BINARIA

NUMERO DE VARIABLES 4,095

NUMERO DE RESTRICCIONES ILIMITADO

INTERVALO DE LAS FRONTERAS 0,1

- PROGRAMACION SEPARABLE

NUMERO DE VARIABLES

NUMERO DE RESTRICCIONES

INTERVALO DE LAS FRONTERAS 0,00

3.2 OPTECH

SOLUCION FACTIBLE, NO-FACTIBLE, OPTIMA

NUMERO DE VARIABLES 336

NUMERO DE RESTRICCIONES 206

NUMERO DE ELEMENTOS 1354

- PROGRAMACION CONTINUA

PROBLEMAS DE MINIMIZACION

- PROGRAMACION ENTERA (GONZALEZ- YOUNG)

PROBLEMAS DE MAXIMIZACION

- ALGORITMO DE BUSQUEDA DIRECTA

4. DECISIONES DE INVERSION

La política que debe asumir una empresa respecto a la definición de los principios que deben regir la magnitud y la composición de las inversiones y a la determinación de las fuentes de fondos que debe utilizar para financiar sus inversiones requiere de un profundo análisis que conduzca al logro de sus objetivos o metas. La programación matemática es una técnica promisoría para la resolución de este tipo de problemas, al permitir el planteamiento y la resolución de modelos de análisis de inversiones que involucran proyectos indivisibles e interdependientes así como modelos con restricciones de capitales.

4.1 METODO DE LA PROGRAMACION MATEMATICA

La administración a menudo debe elegir entre inversiones - competidoras porque el capital está racionado o porque ciertos proyectos se excluyen mutuamente. En estas situaciones, un modo de elegir la mejor cartera de proyectos competidores es la ordenación de éstos de acuerdo con cierto criterio, y - se aceptan en el orden de su clasificación hasta que se agota el capital de la firma. Cuando cada inversión es reducida en relación con el presupuesto total capital, este método de selección determina una cartera de inversiones que se -- aproxima al óptimo (figura 19). Pero cuando cada inversión es grande, este procedimiento fracasa porque ignora el problema de la indivisibilidad de los proyectos. Para tener en cuenta la indivisibilidad de los proyectos, el principio del ordenamiento debe aplicarse, no a cada proyecto individualmente, sino a todas las posibles combinaciones de proyectos. A medida que aumente el número de proyectos que compiten, - los calculos asociados al método del ordenamiento se multiplican rápidamente. Un enfoque mucho más promisorio es el de programación matemática que puede tratar simultáneamente los problemas de racionamiento de capital, las inversiones que se excluyen mutuamente y la indivisibilidad de proyec-

METODO DEL ORDENAMIENTO

(a)

X : $A_0 = -\$ 100$; $TIR_x = 15\%$ Y : $A_0 = -\$ 100$; $TIR_y = 20\%$ Z : $A_0 = -\$ 100$; $TIR_z = 25\%$

ORDEN: Z; Y ; X

SUPONGA LIMITE INVERSION = \$ 200

. . ORDEN : Z; Y

(b)

R : $A_0 = -\$ 100$ VAN= \$ 25 $A_0 = -\$ 75$ VAN= \$ 15 $A_0 = -\$ 75$ VAN= \$ 15

ORDEN R; S; T

LIMITE INVERSION = \$ 150

. . ORDEN R

tos.

4.1.1 MODELOS DIVISIBLES

Un proyecto es divisible cuando la inversion puede variar en todo el rango posible definido por la aceptación total al rechazo . Y dos proyectos son independientes si la aceptación o el rechazo de uno no tiene un efecto mensurable sobre la rentabilidad del otro.

La formulación de un método para la selección de proyectos divisibles e independientes no varia respecto a la definición del modelo general de programación lineal (figura 20). Es decir la estructura del modelo es la siguiente:

MAXIMIZAR $= \sum_j C_j X_j$

SUJETO A : $\sum_j a_{ij} X_j \leq b_i \quad i=1, \dots, n$

DONDE : C_j : valor actual neto del proyecto j.

b_i : restricción legal, financiera, capacidad.

a_{ij} : egresos.

4.1.2 MODELOS INDIVISIBLES

Un proyecto es indivisible cuando la inversión esta

MODELOS DIVISIBLES INDEPENDIENTES

FORMULACION:

$$\text{MAXIMIZAR: } Z = \sum_j C_j X_j$$

$$\text{SUJETO A: } \sum_j a_{ij} X_j \leq b_i \quad i, 1, \dots, m$$

DONDE:

C_j : Valor actual neto del proyecto j .

b_i : Restricciones de capacidad, legales, financieras.

a_{ij} : Egresos.

EJEMPLO:

		PROYECTOS			
		A1	A2		RESTRICCIONES
		1	2	8	CAPACIDAD
		2	4	10	LEGAL
		1	6	12	FINANCIERA
BENEFICIO		1	2		

$$\text{MAXIMIZAR } = X_1 + 2X_2$$

$$\begin{aligned} \text{SUJETO A : } & X_1 + 2 X_2 \leq 8 \\ & 2X_1 + 4 X_2 \leq 10 \\ & X_1 + 4 X_2 \leq 12 \\ & X_1, X_2 \geq 0 \end{aligned}$$

restringida a la aceptación total o al rechazo.

Para la formulación de modelos que involucran proyectos indivisibles el modelo general de programación matemática requiere el cambio de la restricción de no-negatividad de las variables a la restricción de variables binarias. (figuras 21 y 22). Es decir, la estructura del modelo es la siguiente:

Para proyectos independientes:

$$\text{MAXIMIZAR } \quad = \sum_j C_j X_j$$

$$\text{SUJETO A : } \quad \sum_j a_{ij} X_j \leq b_i \quad i=1, \dots, m$$

$$X_j = 0, 1$$

Para proyectos dependientes:

$$\text{MAXIMIZAR } \quad = \sum_j C_j X_j$$

$$\text{SUJETO A : } \quad \sum_j a_{ij} X_j \leq b_i \quad i=1, \dots, m$$

$$X_j = 0, 1$$

$$X_0 + X_p = 1 \quad 0 \neq p$$

MODELOS INDIVISIBLES INDEPENDIENTES

FORMULACION:

$$\text{MAXIMIZAR} \quad Z = \sum_j C_j X_j$$

$$\text{SUJETO A :} \quad \sum_j a_{ij} X_j \leq b_i \quad i=1, \dots, m$$

DONDE:

C_j : Valor actual neto del proyecto j .

b_i : Restricciones de capacidad, legales, financieras

a_{ij} : Egresos.

EJEMPLO:

	PROYECTOS			
	A1	A2	A3	RESTRICCIONES
	1	1	3	6
	2	2	1	8
BENEFICIO	4	1	2	

$$\text{MAXIMIZAR} \quad Z = 4X_1 + X_2 + 2X_3$$

$$\text{SUJETO A:} \quad X_1 + X_2 + 3X_3 \leq 6$$

$$2X_1 + 2X_2 + X_3 \leq 8$$

$$X_1, X_2, X_3 = 0, 1$$

FORMULACION:

$$\begin{aligned}
 & \text{MAXIMIZAR} && Z = \sum_j C_j X_j \\
 & \text{SUJETO A :} && \sum_j a_{ij} X_j \leq b_i && i=1, \dots, m \\
 & && X_j = 0, 1 \\
 & && X_0 + X_p = 1 && 0 \neq p
 \end{aligned}$$

DONDE:

C_j : Valor actual neto del proyecto J.

b_i : Restricciones de capacidad, legales, financieras.

a_{ij} : Egresos.

EJEMPLO:

	PROYECTOS			
	A1	A2	A3	RESTRICCIONES
	1	1	3	6
	2	2	1	8
BENEFICIO	4	1	2	
				LEGAL
				FINANCIERA

$$\text{MAXIMIZAR} \quad Z = 4X_1 + X_2 + 2X_3$$

$$\text{SUJETO A:} \quad X_1 + X_2 + 3X_3 \leq 6$$

$$2X_1 + 2X_2 + X_3 \leq 8$$

$$X_1, X_2, X_3 = 0, 1$$

$$X_1 + X_3 = 1$$

2.4 EL MODELO DE PROGRAMACION DE METAS

La programación de metas es una variación de la programación lineal adaptada al problema de hallar una solución satisfactoria más bien que óptima.

En la programación lineal solo una meta se incorpora a la función objetivo que debe maximizarse o minimizarse. Si la administración tiene varias metas, las metas no incorporadas a la función objetivo reciben el tratamiento que corresponde a las restricciones del problema. Después el procedimiento de cálculo elige del conjunto de todas las soluciones que satisfacen las restricciones la (o las) que maximiza o minimiza la función objetivo. Como la empresa procura obtener el valor más elevado de la función objetivo afirmase que adopta un comportamiento optimizador. En la programación de metas, todas las metas, trátase de una o muchas, se incorporan a la función objetivo, y solo las condiciones ambientales reciben el trato que se dispensa a las restricciones. Más aún, cada meta fija en un valor que a juicio de la administración es satisfactorio, pero que no siempre es el mejor que puede obtenerse. Entonces el procedimiento de cálculo selecciona entre el conjunto de todas las soluciones que satisfacen las

restricciones, la (o las) que mejor satisface los propósitos anunciados por la administración. Como en este caso el objetivo es obtener resultados satisfactorios, afirmase que la empresa adopta un comportamiento de satisfacción (figura).

Las ventajas que reporta convertir un problema corriente de programación lineal en un problema de programación de metas son: en primer lugar, la programación de metas es aplicable para promover la coordinación de actividades de una empresa. En segundo lugar, es útil cuando el objetivo final es satisfacer ciertos niveles de producción más que optimizar. en tercer lugar, cuando el propósito general de la firma es maximizar la ganancia, la programación de metas - continúa siendo preferible si hay metas multiples. como se indicó anteriormente, cuando la administración se propone varias metas, la programación lineal incorpora solo una de ellas a la función objetivo y trata como restricciones las restantes. Como la solución óptima debe satisfacer completamente todas las restricciones, esta estructuración del problema implica que :

- 1) Las diferentes metas dentro de las restricciones tienen la misma importancia, y 2) estas metas tienen prioridad absoluta sobre la meta incorporada a la función objetivo.

Por último, la programación de metas puede resolver problemas en los que las metas tienen diferentes niveles de prioridad. Esta flexibilidad en el tratamiento de varias metas es importante sobre todo en situaciones en las que las metas se contradicen y por lo tanto no se pueden satisfacer todas plenamente (figuras 23 a 26).

PROGRAMACION LINEAL

MAXIMIZAR

o

MINIMIZAR

$$z = \sum_j C_j X_j$$

SUJETO A:

$$\sum_j a_{ij} X_j \leq b_i \quad i=1, \dots, n$$

$$X_j \geq 0$$

PROGRAMACION DE METAS

MINIMIZAR

o

MAXIMIZAR

$$Z = x^+ + x^-$$

SUJETO A :

$$\sum_j a_{ij} X_j \leq b_i \quad i=1, \dots, m$$

$$\sum_j C_j X_j - x^+ + x^- = M$$

$$X_j \geq 0$$

$$(x^+, x^- = 0)$$

$$x^+, x^- \geq 0)$$

DONDE:

x^+ Variable del excedente; mide la magnitud en que la ganancia realizable supera a la ganancia que se fijó como meta.

x^- Variable de holgura, mide la magnitud en que la ganancia realizable es inferior a la meta que se había fijado.

M Meta fijada.

PRODUCCION

	RADIOS	TELEVISIONES	RECURSOS
	1	1	4
	3	1	10
	1	2	12
VENTA	1	2	

PROGRAMACION LINEAL

MAXIMIZAR $Z = X_1 + 2X_2$

SUJETO A : $X_1 + X_2 \leq 4$

$$3X_1 + X_2 \leq 10$$

$$X_1 + 2X_2 \leq 12$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

SOLUCION OPTIMA .- $X_1 = \frac{4}{3}$, $X_2 = \frac{8}{3}$; $Z = 6.67$

PROGRAMACION DE METAS

META $Z = 8$

MINIMIZAR $Z = x^+ + x^-$

SUJETO A : $X_1 + X_2 \leq 4$

$$3X_1 + X_2 \leq 10$$

$$X_1 + 2X_2 \leq 12$$

$$X_1 + 2X_2 - x^+ + x^- = 8$$

$$X_1, X_2, x^+, x^- \geq 0$$

SOLUCION OPTIMA .- $X_1 = \frac{4}{3}$, $X_2 = \frac{8}{3}$, $x^- = \frac{4}{3}$

PROGRAMACION DE METAS MULTIPLES

MINIMIZAR

O

MAXIMIZAR $M x_1^+ + N x_1^- + N x_2^+ + N x_2^- + 2N x_3^+ + N x_3^-$ SUJETO A : $\sum_j a_{ij} x_j \leq b_i \quad i=1, \dots, m$

$$\sum_j c_j x_j - x_1^+ + x_1^- = M_1$$

$$\sum_j c_j x_j - x_2^+ + x_2^- = M_2$$

$$\sum_j c_j x_j - x_3^+ + x_3^- = M_3$$

$$x_j \geq 0$$

$$x_1^+, x_1^- \geq 0$$

PROGRAMACION DE METAS MULTIPLES

	RADIOS TELEVISORES			RESTRICCIONES
	1	1	4	MONTAJE
	3	1	10	PRODUCCION
	1	4	12	FINANCIERA
BENEFICIO	1	2		

MAXIMIZAR $Z = X_1 + 2X_2$

SUJETO A : $X_1 + X_2 \leq 4$

$$3X_1 + X_2 \leq 10$$

$$X_1 + 4X_2 \leq 12$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

METAS $Z = 3.5 \gg X_2 = 2$

MINIMIZAR $Z = Mx_1^+ + Mx_1^- + Nx_2^+ + Nx_2^-$

SUJETO A : $X_1 + X_2 \leq 4$

$$3X_1 + X_2 \leq 10$$

$$X_1 + 4X_2 \leq 12$$

$$X_2 - x_2^+ + x_1^- = 2$$

$$X_1 + 2X_2 - x_1^+ + x_2^- = 3.5$$

$$X_1, X_2, x_1^+, x_1^-, x_2^+, x_2^- \geq 0$$

4.3 ANALISIS DE INSUMO-PRODUCTO Y PROGRAMACION LINEAL

El sistema de Leontief se fundamenta en la premisa de que en una economía es posible dividir a todas las actividades productivas en sectores cuyas relaciones recíprocas puedan expresarse por medio de una serie de funciones de insumo. Y en los siguientes supuestos:

- 1) cada mercancía (o grupo de mercancías) es suministrada por una sola industria o sector de producción.
- 2) Los insumos comprados por cada sector son solamente una función del nivel de producción de ese sector.
- 3) El efecto total de llevar a cabo varios tipos de producción constituye la suma de los efectos separados (supuesto de aditividad).

La estructura general y los modelos fundamentales del modelo de Leontief se muestran en las figuras 27 a 31.

Ahora estamos interesados en modelos que tienen en consideración el hecho de que existen muchas formas diferentes de producir bienes y satisfacer necesidades, y que las opciones de una parte de la economía pueden depender de las decisiones en otra. las técnicas matemáticas para manipular estos supues

27
INSUMO - PRODUCTO

	CONSUMO INTERMEDIO		CONSUMO FINAL					USO TOTAL	OFERTA	
	SECTOR		INVERSION	CONSUMO	GOBIERNO	EXPORTACION	CONSUMO FINAL TOTAL		IMPORTACION	PRODUCCION
	1...j...n	CONSUMO INTERMEDIO TOTAL								
1	$X_{11} \dots X_{1j} \dots X_{1n}$	W_1	I_1	C_1	G_1	E_1	Y_1	Z_1	M_1	X_1
1	$X_{11} \dots X_{1j} \dots X_{1n}$	W_1	I_1	C_1	G_1	E_1	Y_1	Z_1	M_1	X_1
n	$X_{n1} \dots X_{nj} \dots X_{nn}$	W_n	I_n	C_n	G_n	E_n	Y_n	Z_n	M_n	X_n
INSUMOS PRODUCIDOS TOTALES	$U_1 \dots U_j \dots U_n$									
INSUMOS PRIMARIOS	$V_1 \dots V_j \dots V_n$		V_I	V_C	V_G	V_E		V		V
PRODUCCION TOTAL	$X_1 \dots X_j \dots X_n$		I	C	G	E	Y	Z	M	X

NOTACION:

- Z_i : USO TOTAL DEL SECTOR i
 X_i : PRODUCCION TOTAL DEL SECTOR i
 M_i : IMPORTACIONES DEL SECTOR i
 X_{ij} : CANTIDAD CONSUMIDA DEL SECTOR i
 POR EL SECTOR j
 Y_i : CONSUMO FINAL DEL SECTOR i
 W_i : CONSUMO INTERMEDIO TOTAL DEL SECTOR i
 U_j : CONSUMO TOTAL POR EL SECTOR j DE LOS INSUMOS COMPRADOS
 EN OTROS SECTORES
 V_j : CONSUMO TOTAL DE INSUMOS PRIMARIOS EN EL SECTOR j .

ECUACIONES DE EQUILIBRIO:

- 1) OFERTA TOTAL IGUAL A DEMANDADA TOTAL

$$Z_i = M_i + X_i = W_i + Y_i = \sum_j X_{ij} + Y_i \quad (i=1, \dots, n)$$

- 2) PRODUCCION TOTAL IGUAL A INSUMOS

$$X_j = U_j + V_j = \sum_i X_{ij} + V_j \quad (j=1, \dots, n)$$

- 3) INSUMOS PRIMARIOS IGUAL A IMPORTACIONES MENOS CONSUMO FINAL.

$$\sum_j V_j = \sum_i Y_i - \sum_i M_i$$

PRODUCTO NACIONAL BRUTO = V

INGRESO NACIONAL BRUTO = Y

MODELOS FUNDAMENTALES

SUPUESTOS:

- i) UN PRODUCTO DADO ES SUMINISTRADO ÚNICAMENTE POR UN SECTOR
 - ii) NO EXISTEN COPRODUCTOS
 - iii) LA CANTIDAD DE CADA UNO DE LOS INSUMOS USADOS EN LA PRODUCCION POR UN SECTOR, ESTA TOTALMENTE DETERMINADA POR EL NIVEL DE PRODUCCION DE DICHO SECTOR.
- a) LA DEMANDA ES UNA FUNCION DEL NIVEL DE PRODUCCION.

$$X_{ij} = \bar{X}_{ij} + a_{ij} X_j$$

DONDE:

a_{ij} : COEFICIENTE MARGINAL DE INSUMO

\bar{X}_{ij} : CONSTANTE QUE INCLUYE CUALESQUIERA ELEMENTOS DE COSTO FIJO QUE NO VARIE CON EL NIVEL DE PRODUCCION.

DE LA ECUACION DE EQUILIBRIO (I) TENEMOS:

$$M_i + X_i = \sum_j X_{ij} + Y_i$$

POR LO TANTO:

$$X_i - \sum_j \bar{X}_{ij} - \sum_j a_{ij} X_j = Y_i - M_i \quad i = 1, \dots, n$$

METODO DE SOLUCION.

$$a) \quad X_i - \sum_j a_{ij} X_j = \bar{Y}$$

$$(I - A) X = Y$$

$$X = (I - A)^{-1} Y$$

$$X = R Y$$

$$\therefore (I - A) R = I$$

$$X_i = r_{i1} \bar{Y}_1 + r_{i2} \bar{Y}_2 + \dots + r_{in} \bar{Y}_n$$

$$b) \quad (1 + m_i) X_i - \sum_j a_{ij} X_j = \bar{Y} \quad (i = 1, \dots, n)$$

$$(I + M - A) X = Y$$

$$X = (I + M - A)^{-1} Y$$

$$X = R Y$$

$$\therefore (I + M - A) R = I$$

$$X_i = r_{i1} \bar{Y}_1 + r_{i2} \bar{Y}_2 + \dots + r_{in} \bar{Y}_n$$

- b) NIVEL DE IMPORTACION ES UNA FUNCION DEL NIVEL DE -
PRODUCCION.

$$M_i = \bar{M}_i + m_i X_i$$

DONDE:

\bar{M}_i : COEFICIENTE DE IMPORTACION

DEL MODELO FUNDAMENTAL (a)

$$X_i - \sum_j a_{ij} X_j = Y_i - M_i \quad i = 1, \dots, n$$

RESULTA:

$$(1 + m_i) X_i - \sum_j a_{ij} X_j = Y_i + \sum_j \bar{X}_{ij} - \bar{M}_i$$

DONDE EL EXTREMO DERECHO DE LA IGUALDAD ES LA DEMANDA
AUTONOMA.

$$\bar{Y} = Y_i + \sum_j \bar{X}_{ij} - \bar{M}_i$$

tos más generales han sido desarrollados en años recientes bajo las denominaciones de programación lineal y de análisis de actividades.

Comparado con el sistema de Leontief, el método de programación lineal contiene dos innovaciones. Incluye, en primer lugar, fuentes alternativas de abastecimiento como actividades separadas, y el nivel al cual se utiliza cada una de ellas se convierte en una variable en el modelo. Por consiguiente, el sistema tiene más variables que ecuaciones, y muchas soluciones posibles. La segunda innovación consiste en el aumento de un criterio para preferir una solución a otra, la que puede ser la reducción del costo al mínimo, la evaluación del bienestar al grado máximo, o cualquiera otra función de los niveles de actividad.

4.3.1 PLANTEAMIENTO ALGEBRAICO

Como el análisis de insumo-producto fue desarrollado antes que el análisis de actividades y se deriva de un conjunto más especializado de supuestos, sus conceptos son tanto más concretos como más limitados en sus aplicaciones. La estructura lógica del análisis de actividades se enuncia en términos muy generales sin ningún nexo institucional necesario. Puede, por lo tanto

aplicarse a varias clases de unidades, desde plantas -
aistadas hasta economías integrales, y a cualquier tipo
de transformación de insumos en productos. Sin embargo
go, cuando el análisis de actividades se emplea para -
los modelos interindustriales, a estos conceptos puede
dárseles una significación más específica, y la mayor
parte de ellos puede considerarse como generalizacio-
nes de los conceptos de insumo-producto. El cambio -
principal, es la sustitución de la idea de industria de -
Leontief, por la de actividad.

i) En el análisis de actividades mercancía tiene un sig-
nificado semejante al que se emplea en la teoría de in-
sumo-producto. Para el análisis podemos hacer una dis-
tinción conveniente entre mercancías primarias y produ-
cidas, y entre consumos intermedios y finales. Mercancia
primaria es cualquier insumo no producido en el sis-
tema. Los consumos finales (más comúnmente llamados
requisitos) son aquellos que se estipulan de antemano.

ii) Actividades cualquier transformación posible, de pro-
porciones fijas de insumos de mercancías en proporcio-
nes fijas de producción de mercancías. Incluye, como
caso especial, el concepto de Leontief de una industria

o sector de producción (figura 32).

iii) El grado hasta el cual se utiliza una actividad que es definida por la producción bruta en el sistema de insumo-producto, en el análisis de actividades y en la programación lineal se convierte en nivel de actividad. Cualquier insumo o producción puede seleccionarse como unidad de medida, asún cuando, será conveniente tomar como base la producción de la mercancía principal. (figura 33).

iv) Los elementos autónomos que se aceptan como conocidos en el análisis de actividades, se llaman restricciones o impedimentos. Estos no sólo incluyen a las demandas finales de insumo-producto sino también a las cantidades disponibles de recursos, y algunas veces a otras limitaciones. (figura 34).

Con estas consideraciones el modelo de programación lineal se formula de la siguiente manera (figura 35):

$$C = \sum_j C_j X_j$$

SUJETOS A :

$$\sum_j a_{ij} X_j \geq B_i \quad i=1, \dots, m$$

$$X_j \geq 0$$

ACTIVIDAD

all
 a21
 .
 .
 .
 .
 an1

ACTIVIDADES

all	a21	an1
a21	a22	an2
.		.
.		.
.		.
an1	an2	ann

MERCANCIAS

ANALISIS DE ACTIVIDADES

O

PROGRAMACION LINEAL

INSUMO - PRODUCTO

ACTIVIDADES

SECTOR INDUSTRIAL

MERCANCIAS PRIMARIAS

INSUMOS PRIMARIOS

MERCANCIAS PRODUCIDAS

INSUMOS PRODUCIDOS

TOTAL DE CADA INSUMO EMPLEADO O DE CADA PRODUCTO
FABRICADO POR LA ACTIVIDAD

$$x_{ij} = a_{ij} x_j$$

PRODUCTOS

$$\sum_j x_{ij} = \sum_j a_{ij} x_j \quad i=1, \dots, n$$

INSUMOS

$$\sum_j x_{ij} = - \sum_j a_{ij} x_j \quad i=1, \dots, n$$

PROGRAMA $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$

ANALISIS DE ACTIVIDADES

○

PROGRAMACION LINEAL

INSUMO- PRODUCTO

NIVEL DE ACTIVIDADES

PRODUCCION BRUTA

RESTRICCIONES

 B_1 B_2

.

.

.

 B_n

DEMANDAS FINALES

 B_1 POSITIVOS

INSUMOS PRIMARIOS

 B_1 NEGATIVOS

INSUMOS INTERMEDIOS

 B_1 CERO

ANALISIS DE ACTIVIDADES

○

PROGRAMACION LINEAL

INSUMO-PRODUCTO

RESTRICCIONES

DEMANDAS FINALES

MODELO DE PROGRAMACION LINEAL

$$\sum_j a_{ij} X_j - D_i = Y_i \quad i=1, \dots, m$$

con $Y_i \geq 0$

$$\sum_j f_{hj} X_j - D_h = F_h \quad h=m+1, \dots, m+L$$

con $F_h < 0$

DONDE:

Y_i : Demandas finales

F_h : Abastecimiento disponible de factores primarios

D_i : Nivel de actividad excedente de producción

D_h : Nivel de actividad excedente de factores primarios

$\sum_j a_{ij} X_j$: Demanda de la mercancía i por el sector j .

$\sum_j f_{hj} X_j$: Demanda del factor h por el sector j .

Podemos observar cuatro diferencias entre estas ecuaciones y las que forman el sistema de Leontief:

- i) Necesitamos de cierta función de los niveles de actividad que nos capacite para escoger una solución con preferencia de otra. Esto se llama criterio o función objetivo
- ii) Existen formas alternativas para realizar la misma producción.
- iii) Las restricciones consisten más bien en desigualdades que en igualdades. Esta formulación deja margen para que algunos recursos no se utilicen.

4.3.2 COMPARACION DE SUPUESTOS

1) El modelo de insumo-producto presupone que cada mercancía está suministrada por un solo sector de producción. En programación Lineal este supuesto se substituye por:

- a) una mercancía puede ser producida por cualquier número de actividades.
- b) Cada actividad puede tener varias producciones.

Definimos, entonces, a sector o industria como el conjunto de todas las actividades que producen una mercanan

cia dada.

2) Los insumos utilizados por una actividad son únicamente función del nivel de producción.

a) En el modelo de programación lineal es necesaria - una función lineal $X_{ij} = aX_j$; a la que se conoce como el supuesto de proporcionalidad.

b) En el modelo de insumo-producto se supone la condición lineal, más no es importante la proporcionalidad.

4) La no-negatividad de los niveles de actividad es necesaria en ambos casos.

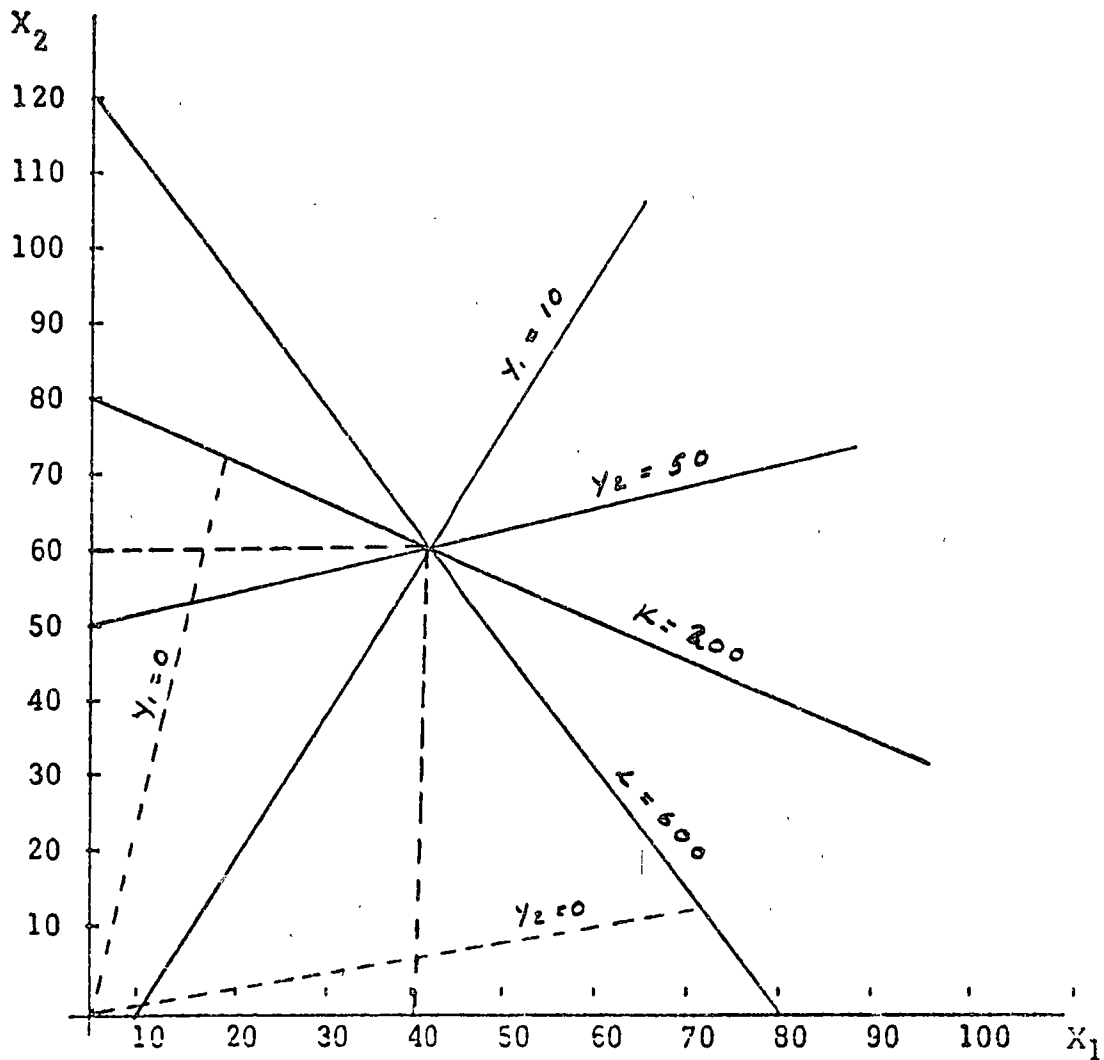
Se consigna a continuación un ejemplo con el propósito de esclarecer los conceptos hasta ahora analizados - (figuras 36 a 37).

EJES DE ACTIVIDADES

MERCANCIA 1	$1,0X_1 - 0,5X_2 = Y_1$
MERCANCIA 2	$-0,25X_1 + 1,0X_2 = Y_2$
TRABAJO	$-7,5X_1 - 5,0X_2 = -L$
CAPITAL	$-1,25X_1 - 2,5X_2 = -K$

SUPONGA:

$$Y_1 = 10 \quad , \quad Y_2 = 50$$



EJES DE DEMANDAS FINALES

$$1.0X_1 - 0.5X_2 = Y_1$$

$$-0.25X_1 + 1.0X_2 = Y_2$$

$$-7.5X_1 - 5.0X_2 = -L$$

$$-1.25X_1 - 2.5X_2 = -K$$

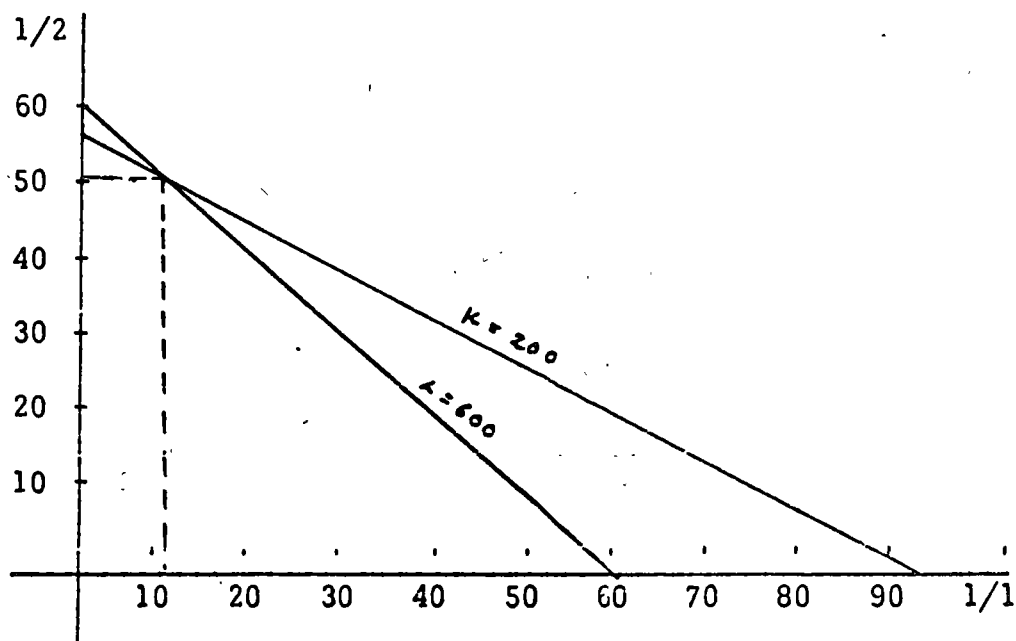
Resolviendo las dos primeras ecuaciones para obtener las X en función de las Y y sustituyendo en las dos últimas tenemos :

$$L = 10.0Y_1 + 10.0Y_2$$

$$K = 2.143Y_1 + 3.571Y_2$$

SUPONGA :

$$L = 600 , \quad K = 200$$



4.3.3 ELECCION POR EL USO DE LA DEMANDA

Siempre que empleamos el análisis de insumo-producto para la formulación o comprobación de programas económicos, nos ocupamos de las elecciones que afectan el nivel y la composición de la producción final que pueda elaborarse. Como el sistema de insumo-producto no contiene dentro del modelo elementos de elección, al usarlo deben establecerse comparaciones entre las soluciones alternativas para diferentes demandas supuestas. Por medio de los conceptos de programación podemos tratar sistemáticamente esta elección y asegurarnos de que el resultado final sea realmente óptimo para las condiciones dadas.

Para transformar el sistema de insumo-producto en un modelo de programación de demandas alternativas y limitaciones de recursos, necesitamos añadir lo siguiente :

- i) Una serie de ecuaciones para el uso de los recursos, con actividades disponibles para medir la cantidad no utilizada de cada uno de los recursos.
- ii) Actividades disponibles para medir el consumo final de cada mercancía.
- iii) Una función objetivo, que expresa el valor asignado al

consumo final de cada mercancía.

Como siempre en estos casos es conveniente ilustrar con un ejemplo: (figura 38-40).

4.3.4 ELECCION POR EL LADO DE LA OFERTA

Al analizar las elecciones de las demandas finales no hemos abandonado ninguno de los supuestos de Leontief sino, sencillamente, hemos agregado actividades adicionales para describir las combinaciones probables de la demanda. Sin embargo, ahora formularemos un supuesto más general que el sistema de Leontief diciendo que existen fuentes alternativas de oferta y que no es posible hacer, con anticipación, una elección eficiente entre ellas.

Es probable que queramos introducir alguna o todas de las opciones siguientes :

- 1) Elección de Técnicas alternativas de producción;
- 2) Elección entre importaciones y producción interna (lo que implica que , de igual modo, en el modelo se introduzcan las exportaciones);
- 3) Elección relativa de las proporciones de los abastecimientos provenientes de plantas o regiones existentes;
- 4) Elección entre la producción corriente y el agotamiento

ELECCION POR EL LADO DE LA DEMANDA

FORMULACION:

$$\begin{array}{ll}
 \text{MAXIMIZAR} & Z = \sum_j C_j X_j \\
 \text{SUJETO A:} & \sum_j a_{ij} X_j - D_i = Y_i \quad i=1, \dots, m \\
 & \sum_j F_{hj} X_j - D_h = \bar{F}_h \quad h=m+1, \dots, m+1 \\
 & X_j, D_i, D_h \geq 0
 \end{array}$$

DONDE:

Y_i : Demandas finales

\bar{F}_h : Abastecimiento disponible de recursos primarios

D_i : Variable que mide el exceso de producción

D_h : Variable que mide el exceso de recursos primarios

X_j : Nivel de Producción

a_{ij} : Coeficiente marginal de insumos producidos

F_{hj} : Coeficiente marginal de insumos primarios.

MERCANCIAS	ACTIVIDADES DE PRODUCCION		ACTIVIDADES DE RECURSOS NO USADOS			ACTIVIDADES DE USO FINAL		RESTRICCIONES
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
MERCANCIA 1	1.00	-0.50				-1		0
MERCANCIA 2	-0.25	1.00					-1	0
TRABAJO	-7.50	-5.00	-1					-2000
CAPITAL	-1.25	-2.50		-1				-600
RECURSOS No.	-1.00				-1			-180
F.OBJETIVO						1.25	1.00	MAXIMO

NIVEL DE ACTIVIDAD	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
--------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

MAXIMIZAR $Z = 1.25X_6 + 1.00X_7$

SUJETO A: $1.00X_1 - 0.50X_2 - X_6 = 0$

$-0.25X_1 + 1.00X_2 - X_7 = 0$

$-7.50X_1 - 5.00X_2 - X_3 = -2000$

$-1.25X_1 - 2.50X_2 - X_4 = -600$

$-1.00X_1 - X_5 = -180$

$X_j \geq 0$

SI $X_6 = 10$ y $X_7 = 50$

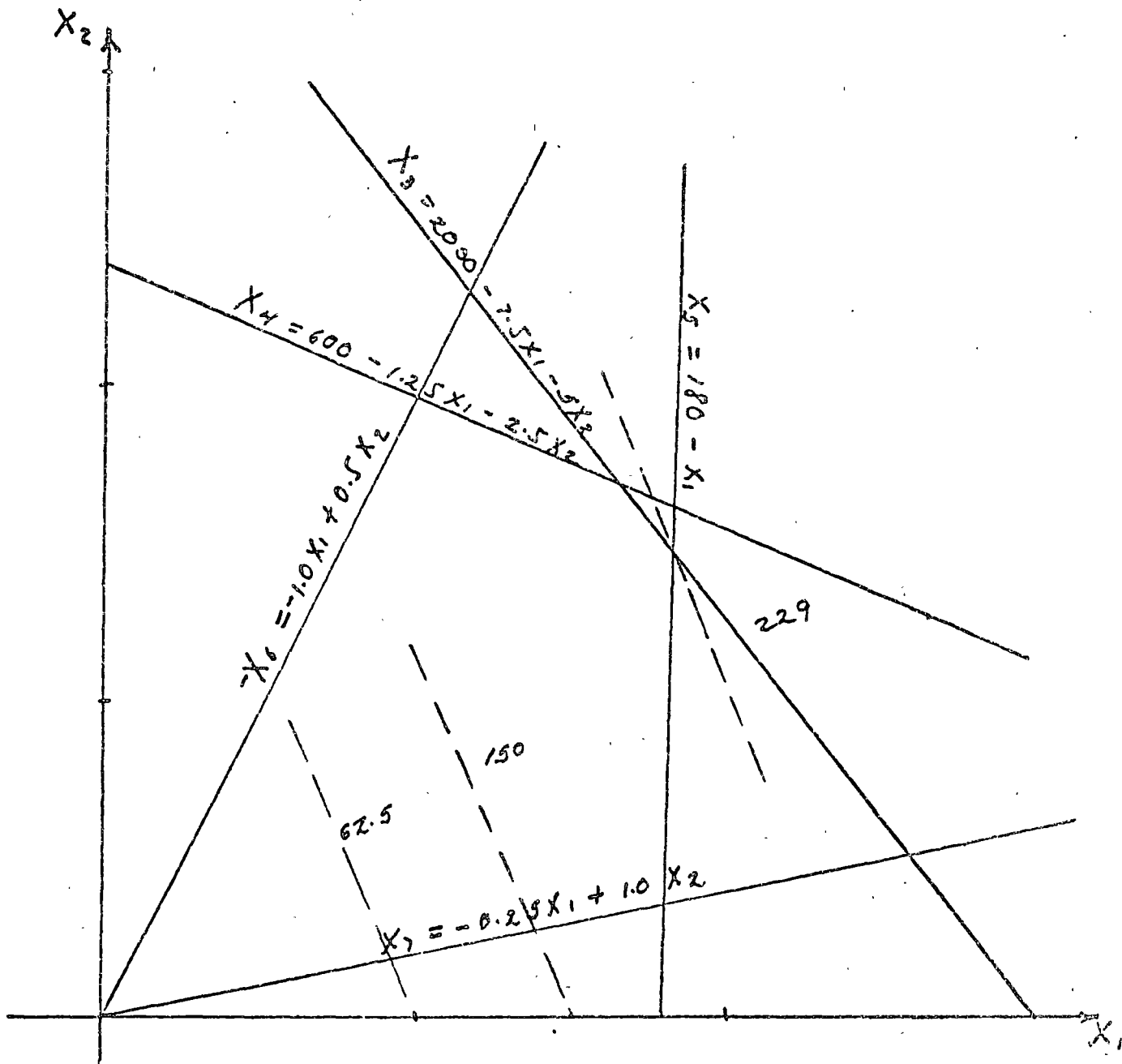
$X_1 = 40$

$X_2 = 60$

$X_3 = 2000 - 7.50X_1 - 5.00X_2 = 1400$ (trabajo no utilizado)

$X_4 = 600 - 1.25X_1 - 2.50X_2 = 400$ (capital no utilizado)

$X_5 = 180 - 1.00X_1 = 140$ (Recursos No. no utilizados)



de existencias (lo que hace necesaria la acumulación de existencias en periodos anteriores).

El planteamiento general de este modelo se encuentra descrito en la figura 41.

ELECCION DE TECNICAS ALTERNATIVAS DE PRODUCCION

MERCANCIAS	ACTIVIDADES DE PRODUCCION							ACTIVIDADES DISPONIBLES		RESTRICCIONES	
	INDUSTRIA 1			INDUSTRIA 2				RECURSOS NO UTILIZADOS	USO FINAL		
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	
MERCANCIA 1 (Y ₁)	1.0	1.0	1.0	-0.2	-0.5	-0.8	-0.75			-0.667	0
MERCANCIA 2 (Y ₂)		-0.25	-0.50	1.0	1.0	1.0	1.0			-0.333	0
TRABAJO (T)	-12.5	-7.5	-6.0	-15.0	-5.0	-4.0	-4.5	-1			\bar{T}
CAPITAL (K)	-1.10	-1.25	-0.30	-1.0	-2.5	-0.6	-0.8		-1		\bar{K}
F.OBJETIVO										1.0	MAXIMO

MAXIMIZAR $Z = X_{10}$

SUJETO A : $1.0X_1 + 1.0X_2 + 1.0X_3 - 0.2X_4 - 0.5X_5 - 0.8X_6 - 0.75X_7 - 0.667X_{10} = 0$

$- 0.25X_2 - 0.50X_3 + 1.0X_4 + 1.0X_5 + 1.0X_6 + 1.0X_7 - 0.333X_{10} = 0$

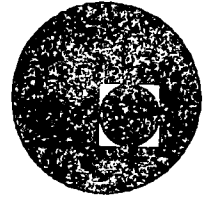
$-12.5X_1 - 7.5X_2 - 6.0X_3 - 15.0X_4 - 5.0X_5 - 4.0X_6 - 4.5X_7 - X_8 = \bar{T}$

$-1.10X_1 - 1.25X_2 - 0.30X_3 - 1.0X_4 - 2.5X_5 - 0.6X_6 - 0.8X_7 - X_9 = \bar{K}$

$X_j \geq 0$



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

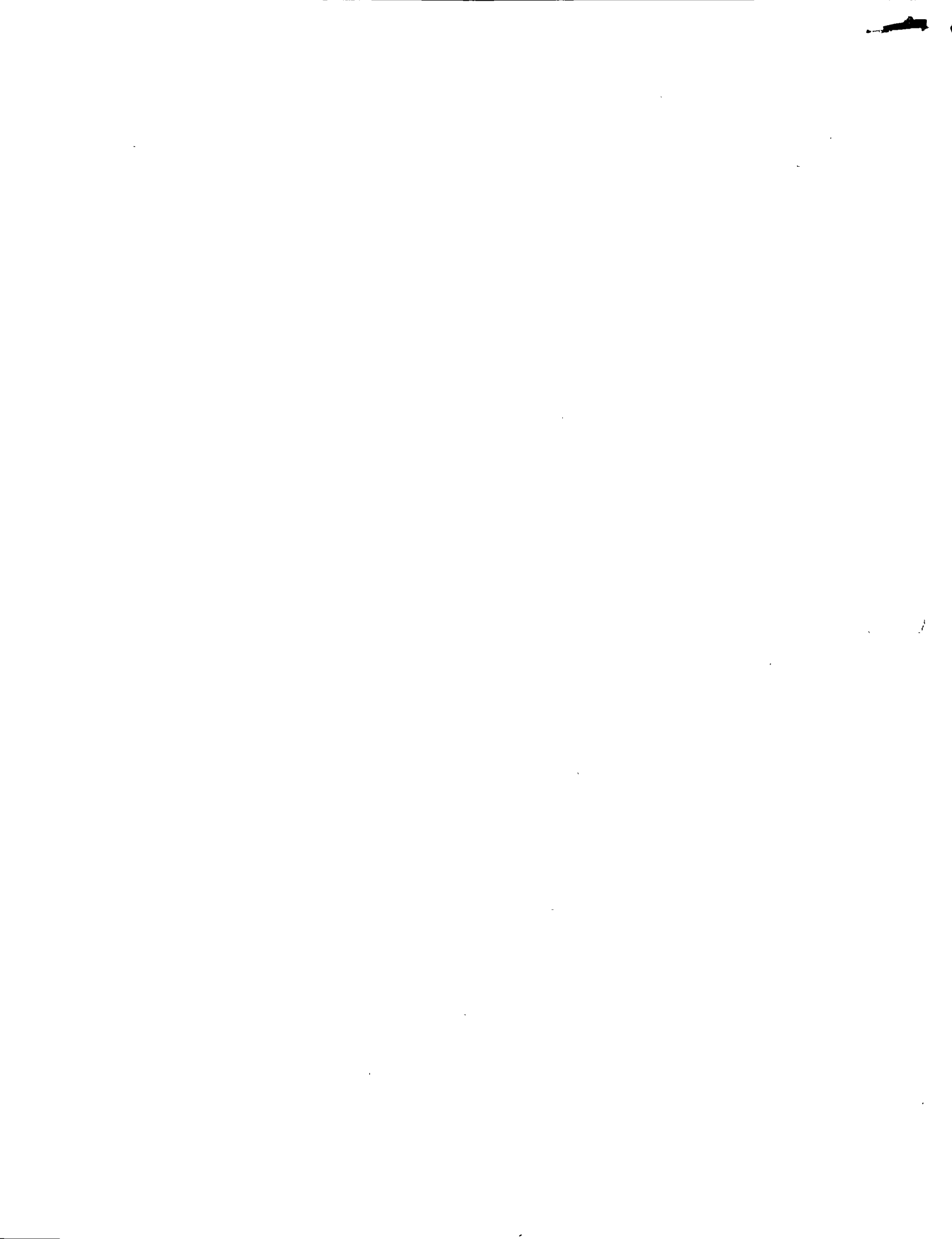


ANALISIS DE INVERSIONES

TEMA: MODELOS DINAMICOS.

PROF. M.en.I. ANTONIO OLIVERA SALAZAR.

Abril, 1978.



MODELOS DINAMICOS DETERMINISTAS

I.- Modelos Dinámicos en Continuo: Estudio de Estrategias Optimas de Inversión en Planes de Ahorro.

I.1.- Planteamiento General

I.2.- Planteamiento del Programa Lineal

I.3.- Planteamiento del Problema bajo la Programación Dinámica

I.4.- Estrategia Optima de Inversión de un Plan de Ahorro

I.5.- Estrategia Optima de Inversión de un Conjunto de Planes de Ahorro

II.- Modelos Dinámicos en Discreto: Proyectos Independientes Deterministas Indivisibles.

II.1.- Presentación del Algoritmo de Ramificar y Acotar

II.2.- Resolución de un Ejemplo

I.- Estudio de Estrategias Optimas de Inversión en Planes de Ahorro.

I.1.- Planteamiento General

Un Plan de Ahorro puede representarse como:

$$\Pi = (a_1, a_2, \dots, a_n) ; a_i = 0 \quad i = 1, \dots, n$$

a_i representa la cantidad que debe depositarse al principio del período i .

al final del período n se recibirá \$ 1.

Se tendrá naturalmente

$$\sum_{i=1}^n a_i < 1$$

para que el plan resulte interesante.

Un plan $\Pi = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ tendrá una tasa de interés asociada (TIR) $r > 0$ la cual verifica la ecuación:

$$a_1 (1+r)^n + a_2 (1+r)^{n-1} + \dots + a_{n-1} (1+r)^2 +$$

$$a_n (1+r) = 1$$

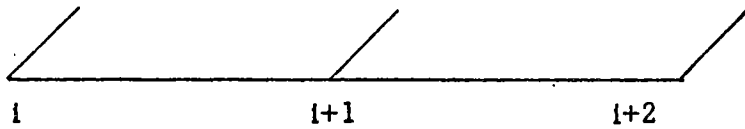
Se van a estudiar las estrategias óptimas de inversión a N períodos $N > n$. Estos planes son tales que están permanentemente a nuestra disposición y es posible iniciar planes en cualquier período y además la cantidad con la que se inicie un plan es cualquier cantidad positiva (Plan en continuo). Una estrategia de inversión a N períodos queda descrita mediante las cantidades con las que se inician planes de ahorro en cada período. Se sobreentiende que toda estrategia ha de ser factible, entendiéndose por factible aquella que se puede llevar a cabo sin rebasar el presupuesto asignado.

Consideramos por ejemplo el plan $\pi = (1/4, 1/2)$ y $N = 4$. Se supone que al principio del primer período se dispone de \$ 1 y que se desea maximizar la cantidad en caja al fin del 4o. período.

Una estrategia factible y que pudiera parecer como natural sería invertir $1/3$ al principio del primer período $2/3$ al principio del segundo, retirar $4/3$ al final del segundo y reiniciar un segundo plan con $4/9$ y $8/9$ ($4/9 + 8/9 = 4/3$) a invertir al principio de los períodos 3 y 4-teniéndose de esta manera $16/9$ al final del 4o. período

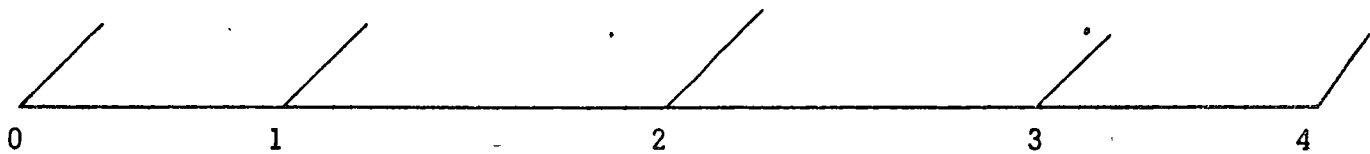
Plan de ahorro $\pi = (1/4, 1/2)$

$$- 1/4 X \quad - 1/2 X \quad + X$$



Estrategias a $N = 4$

$$- 1/4 X_1 \quad - 1/2 X_1 - 1/4 X_2 \quad - 1/2 X_2 - 1/4 X_3 + X_1 \quad - 1/2 X_3 + X_2 \quad X_3$$



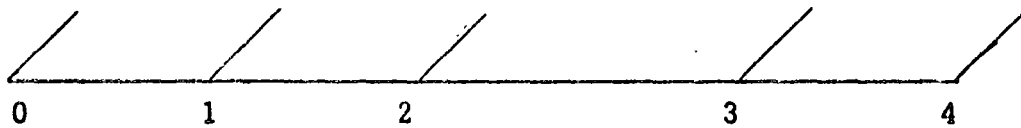
$$\text{Max } Z = X_1 + X_2 + X_3 - 1/4 (X_1 + X_2 + X_3) - 1/2 (X_1 + X_2 + X_3)$$

$$= 1/4 X_1 + 1/4 X_2 + 1/4 X_3$$

Estrategias factibles

a)

$$- 1/3 \quad - 2/3 \quad + 4/3 - 4/9 \quad - 8/9 \quad + 16/9$$



$$X_1 = 4/3$$

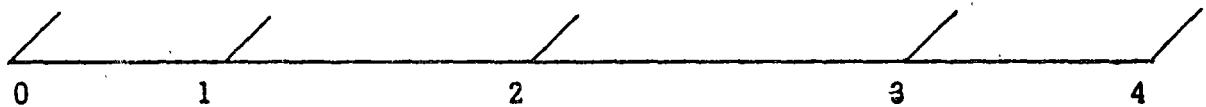
$$X_2 = 0$$

$$X_3 = 16/9$$

$$Z_a = 1/4 (4/3 + 16/9) = 7/9$$

b)

$$- 1/4 \quad - 1/2 - 1/4 \quad - 1/2 - 1/2 + 1 \quad - 1 + 1 \quad 2$$



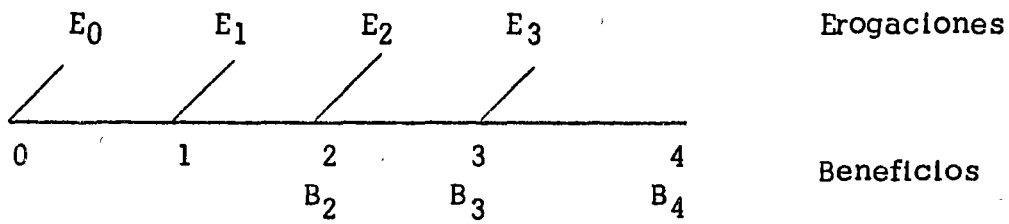
$$X_1 = 1$$

$$X_2 = 1$$

$$X_3 = 2$$

$$Z_b = 1/4 (1 + 1 + 2) = 1$$

I.2.- Planteamiento del Programa Lineal



Sea s_1 = Cantidad no invertida en el período 1

$$E_0 + E_1 + s_2 = 1$$

$$E_2 + s_3 = s_2 + B_2$$

$$E_3 + s_4 = s_3 + B_3$$

$$B_4 + s_4 = Z \text{ (max)}$$

X_1 = Cantidad que pagará el banco al final del período

$$1 + 1$$

$$E_0 = 1/4 X_1$$

$$B_2 = X_1$$

$$E_1 = 1/2 X_1 + 1/4 X_2$$

$$B_3 = X_2$$

$$E_2 = 1/2 X_2 + 1/4 X_3$$

$$B_4 = X_3$$

$$E_3 = 1/2 X_3$$

El programa lineal se expresa

$$3/4 X_1 + 1/4 X_2 + s_2 = 1$$

$$- X_1 + 1/2 X_2 + 1/4 X_3 - s_2 + s_3 = 0$$

$$- X_2 + 1/2 X_3 - s_3 + s_4 = 0$$

$$X_3 + s_4 = Z \text{ (max)}$$

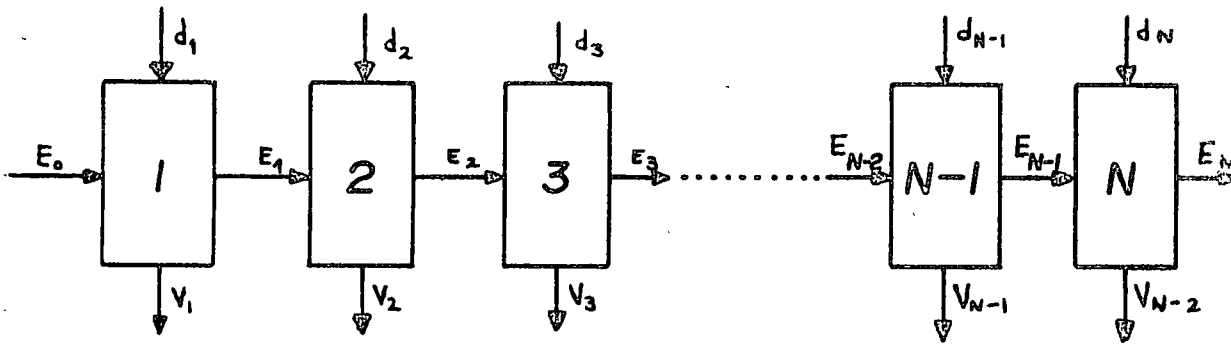
Cuya solución óptima está dada por

$$X_1 = 1 ; X_2 = 1 ; X_3 = 2 ; s_2 = 0 ; s_3 = 0 ; s_4 = 0 ;$$

$$Z = 2$$

I.3.- Planetamiento General de la Programación Dinámica.

- i - No. de la etapa. $i = 1, 2, \dots, N$
- E_i - Estado del Sistema al final de la etapa i .
- d_i - Decisión asociada a la etapa i .
- V_i - Valor de la función objetivo en la etapa i .



E_0 y E_N conocidos; $V_N =$ Objetivo a optimizar

Principio de Optimalidad. En un sistema que puede ser representado en etapas, al encontrarse en una etapa cualquiera i estando el sistema en el estado E_{i-1} se debe tomar la decisión d_i que produce un resultado V_i óptimo, pasando el sistema al estado E_i

Diremos que un sistema que puede ser representado en etapas es susceptible de ser formulado por medio de la Programación Dinámica si es posible establecer una Expresión de Recurrencia que relacione V_i (Valor de la función objetivo en la etapa i) con V_{i-1} .

Para $i = 1, \dots, N$ y para todo estado posible del Sistema.

Se denominan Variables de Estado aquellas que describen íntegramente el estado del sistema en cualquier etapa del mismo.

Por otro lado tenemos las Variables de Decisión ligadas a cada etapa que en conjunto determinen una Estrategia.

Resolución del ejemplo por medio de la Programación Dinámica.

Notación:

V_i Cantidad máxima de dinero que se puede poseer al final del período i .

Y_i Suma de dinero con la cual se inicia un plan de ahorro en el período i .

En una etapa cualquiera i , Y_i constituye la variable de decisión.

Se conocen $V_0 = 1$, $Y_0 = 0$, $Y_N = 0$.

Establecemos:

$$\begin{aligned} V_i &= \text{Max} \left[V_{i-1} + 4Y_{i-1} - (2Y_{i-1} + Y_i) \right] \\ & \quad Y_i + 2Y_{i-1} \leq V_{i-1} \\ &= \text{Max} \left[V_{i-1} + 2Y_{i-1} - Y_i \right] \\ & \quad Y_i + 2Y_{i-1} \leq V_{i-1} \end{aligned}$$

Se habfa dicho que era necesario conocer E_0 , o sea el estado inicial del Sistema. En este caso sabemos que $V_0 = 1$.

Resolución:

$$1) \quad V_1 = 1 - Y_1$$

$$2) \quad V_2 = \text{Max} \left[V_1 + 2Y_1 - Y_2 \right]$$

$$Y_2 + 2Y_1 \leq V_1$$

$$= \text{Max} \left[1 + Y_1 - Y_2 \right]$$

$$Y_2 + 2Y_1 \leq 1 - Y_1$$

$$= \text{Max} \left[1 + Y_1 - Y_2 \right]$$

$$Y_1 \leq \frac{1 - Y_2}{3}$$

El Máximo se obtiene cuando $Y_1 = \frac{1 - Y_2}{3}$ (1) puesto que la expresión entre paréntesis es creciente con respecto a Y_1 .

$$V_2 = 1 + \left(\frac{1 - Y_2}{3} \right) - Y_2$$

$$V_2 = \frac{4 - 4Y_2}{3}$$

$$V_2 = \frac{4 - 4Y_2}{3}$$

$$3) \quad V_3 = \text{Max} \left[V_2 + 2Y_2 - Y_3 \right]$$

$$Y_3 + 2Y_2 \leq V_2$$

$$V_3 = \text{Max} \left[\frac{4 - 4Y_2}{3} + 2Y_2 - Y_3 \right]$$

$$Y_3 + 2Y_2 \leq \frac{4 - 4Y_2}{3}$$

$$= \text{Max} \left[\frac{4 + 2Y_2 - 3Y_3}{3} \right], \quad Y_2 = \frac{4 - 3Y_3}{10} \quad (2)$$

$$Y_2 \leq \frac{4 - 3Y_3}{10}$$

$$= \frac{1}{3} \left(4 + 2 \left(\frac{4 - 3Y_3}{10} \right) - 3Y_3 \right)$$

$$V_3 = \frac{16 - 12Y_3}{10}$$

$$4) \quad V_4 = \text{Max} \left[V_3 + 2Y_3 \right]; \quad (Y_4 = 0)$$

$$2Y_3 \leq \frac{16 - 12Y_3}{10}$$

$$= \text{Max} \left[\frac{16 + 8Y_3}{10} \right]; \quad Y_3 = 1/2 \quad (3)$$

$$Y_3 \leq 1/2$$

$$= \frac{16 + 8(1/2)}{10}$$

$$V_4 = 2$$

Aplicando sucesivamente (3), (2) y (1) tenemos

$$Y_3 = 1/2; Y_2 = 1/4; Y_1 = 1/4$$

N = 4

Plan \ Período	1	2	3	4	5
1	- 1/4	- 1/2	+ 1		
2		- 1/4	- 1/2	+ 1	
3			- 1/2	- 1	+ 2

N = 3

Plan \ Período	1	2	3	4
1	- 1/5	- 2/5	+ 4/5	
2		- 2/5	- 4/5	+ 8/5

N = 5

Plan \ Período	1	2	3	4	5	5
1	-3/13	-6/13	+12/13			
2		-4/13	-8/13	+16/13		
3			-4/13	-8/13	+16/13	
4				-8/13	-16/13	+32/13

OBSERVACIONES

- 1) La estrategia obtenida, (que se puede hacer general para todo plan de ahorro y para toda N) se puede enunciar de la manera siguiente:

"Dado un plan de ahorro $\Pi = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, la estrategia óptima consiste en invertir la totalidad del dinero disponible salvo en los primeros $n - 1$ períodos".

- 2) De acuerdo con este principio basta con conocer la suma más grande que se puede poseer al final del período N para definir enteramente la estrategia óptima.

Para ver en forma clara esto, volvamos a nuestro ejemplo.

Tenemos que el plan de ahorro es a 2 períodos y el horizonte de planeación es 4 períodos, por lo tanto es posible iniciar planes en los períodos 1, 2 y 3 .

Ocupémonos inicialmente del plan iniciado en el período 3:

Al final del período 4 se tendrán \$ 2 que provienen íntegramente del 3er. plan de ahorro puesto que en ningún período intermedio se tendrán remanentes. Así, el 3er. plan consta de dos depósitos de \$ 1/2 y \$ 1 hechos al principio de los períodos 3 y 4 respectivamente.

Finalmente para el primer plan se deberá tener \$ 1 al fin del período 2 y así completamos la estrategia.

Se observa que la Unidad monetaria con la que se comienza el plan está dividida en tres partes (1/4, 1/2 y 1/4) primer y segundo depósito del plan 1 y el primero del segundo plan. De ahí en adelante las cantidades que se retiran del banco son reinvertidas en su totalidad.

I.4.- Estrategia Óptima de Inversión de un Plan de Ahorro

$\Pi = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ a N períodos.

Para determinar en forma general una tal estrategia podemos hacer el planteamiento de la Programación Lineal o bien el de la Programación Dinámica.

Nos conformaremos en este estudio con enunciar los resultados obtenidos y describir la metodología para encontrar una estrategia óptima.

Notación:

$$b_1 = a_1$$

$$D_1 = a_1 b_n$$

$$b_2 = a_1 + a_2$$

$$D_2 = a_n D_1 + a_1 b_{n-1}$$

⋮

⋮

$$b_k = \sum_{i=1}^k a_i$$

$$D_k = \sum_{i=1}^{k-1} a_{i+n-k+1} D_i + a_1 b_{n-k+1}$$

⋮

⋮

⋮

⋮

siendo $a_i = 0$

$i > n$; $b_i = 0$ $i > n$

V_N es la cantidad de dinero máxima que se puede poseer al final del período N disponiendo de \$ 1 al principio del primer período.

Por medio de la Programación Dinámica se obtiene

$$V_N = \frac{a_i}{D_{N-n+1}}$$

Como ya fué enunciado, basta con conocer V_N para poder exhibir la estrategia óptima de inversión a N períodos.

Ejemplo:

$$\eta = \left(\frac{5}{20}, \frac{5}{20}, \frac{2}{20}, \frac{2}{20}, \frac{1}{20} \right); \quad N = 8$$

$$V_8 = \frac{a_1}{D_4};$$

$$D_4 = a_3 D_1 + a_4 D_2 + a_5 D_3 + a_1 b_2$$

$$D_1 = a_1 b_5 = 5/20, 15/20 = .1875$$

$$D_2 = a_5 D_1 + a_1 b_4 = .184375$$

$$D_3 = a_4 D_1 + a_5 D_2 + a_1 b_3 = .17796875$$

$$D_4 = 1/10 (.1875) + 1/10 (.184375) + 1/20 (.17796875) + 5/20 \cdot 10/20$$

$$= .17108593$$

$$V_8 = \frac{.25}{.17108593} = 1.461254$$

Período									
Plan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-.04023	-.04023	-.01609	-.01609	-.00805	+16092			
2		-.03744	-.03744	-.01498	-.01498	-.00749	+14978		
3			-.01827	-.01827	-.00731	-.00731	-.00365	+0.7306	
4				-.36531	-.36531	-.14613	-.14613	-.07306	+1.46125

I.5.- Estrategia Óptima de Inversión de un conjunto de planes de ahorro.

Ahora consideremos un problema más general:

Sea una colección de m planes de ahorro que están a nuestra disposición, los representaremos de la manera siguiente:

$$\pi_1 = (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n_1})$$

$$\pi_2 = (a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n_2})$$

·
·
·

$$\pi_m = (a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mn_m})$$

Sin pérdida de generalidad supongamos

$$n_1 \geq n_2 \geq \dots \geq n_m . \quad \text{Teniéndose } n_1 > n_m$$

Se trata de encontrar la estrategia óptima de inversión a N periodos ($N > n_m$) teniendo \$ 1 al principio del periodo 1 .

Las dos metodologías descritas (Programación Lineal y Programación Dinámica) son desde luego apropiadas para determinar una estrategia

óptima de inversión en un tal contexto, sin embargo el pretender formular en forma general el problema introduciría una complicadísima notación que evitaremos aquí. Proponemos un ejemplo simple que fué resuelto por medio de la Programación Lineal.

Estrategia Óptima de Inversión de un Conjunto de planes de ahorro

Ejemplo:

$$\widehat{\pi}_1 = (1/4, 1/2) ; \quad \widehat{\pi}_2 = (1/4, 1/4, 1/8) , \quad N = 4$$

Con tasas internas de retorno

$$r_1 = .23607$$

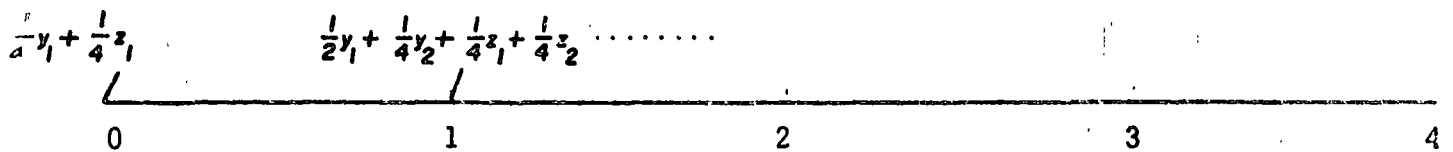
$$r_2 = .23149$$

Sean:

Y_i = Cantidad que se recibirá del banco al final del período $i+1$
bajo un plan $\widehat{\pi}_1$

Z_i = Cantidad que se recibirá del banco al final del período $i+2$
bajo un plan $\widehat{\pi}_2$

s_i = Cantidad no invertida al principio del período i .



Se establece el Programa Lineal

$$\begin{array}{rcl}
 3/4 Y_1 + 1/4 Y_2 & +1/2 Z_1 + 1/4 Z_2 + s_2 & = 1 \\
 - Y_1 + 1/2 Y_2 + 1/4 Y_3 & +1/8 Z_1 + 1/4 Z_2 - s_2 + S_3 & = 0 \\
 - Y_2 + 1/2 Y_3 & - Z_1 + 1/8 Z_2 - s_3 + s_4 & = 0 \\
 & Y_3 + Z_2 + s_4 & = W \text{ (max)}
 \end{array}$$

Cuya solución es la siguiente:

$$Y_1 = 20/31; Y_2 = 0; Y_3 = 64/31; Z_1 = 32/31; Z_2 = 0;$$

$$s_2 = s_3 = s_4 = 0; W = 64/31$$

Estrategia Óptima:

Perfodo Plan	1	2	3	4	5
I ₁	-5/31	-10/31	+20/31		
I ₂	-8/31	-8/31	-4/31	+32/31	
II					
III ₁			-16/31	-32/31	+64/31

Proyectos Independientes Deterministas en Discreto

Planteamiento:

Consideremos un conjunto de m proyectos y un horizonte de planeación a n períodos.

$a_{ij} \geq 0$ es la cantidad que debe ser invertida en el proyecto i ($i = 1, \dots, m$) en el período j ($j = 1, \dots, n$)

B_j es el límite presupuestal del período j ($j = 1, \dots, n$)

f_i es la cantidad asociada a la aceptación del proyecto i (VAN por ejemplo)

Este problema fué planteado de la manera siguiente:

$$\text{Max } Z = Y_1 f_1 + Y_2 f_2 + \dots + Y_m f_m$$

sujeto a:

$$Y_1 a_{11} + Y_2 a_{21} + \dots + Y_m a_{m1} \leq B_1$$

$$Y_1 a_{12} + Y_2 a_{22} + \dots + Y_m a_{m2} \leq B_2$$

$$\begin{array}{ccccccc} \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \end{array}$$

$$Y_1 a_{1n} + Y_2 a_{2n} + \dots + Y_m a_{mn} \leq B_n$$

$$Y_i = 0 \text{ ó } 1 ; \quad i = 1, \dots, m$$

Replanteamiento:

X_{ij} Cantidad que es destinada al Proyecto i en el período j .

$C_i = f_i / \sum_{j=1}^n a_{ij}$ representa la utilidad del proyecto por unidad Invertida

I_0 Conjunto de proyectos no aceptados

I_1 Conjunto de proyectos aceptados

Llamemos A_i al siguiente Programa Lineal

$$\text{Max } Z(i) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_i X_{ij}$$

sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq B_j \quad , \quad j = 1, \dots, n$$

$$0 \leq X_{ij} \leq a_{ij}$$

$$Y_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij} = 0 \quad i \in I_0$$

$$Y_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1 \quad i \in I_1$$

El programa A_1 puede ser resuelto por Inspección de una manera simple.

Sea N_1 el conjunto de proyectos que no pertenecen ni a I_0 ni a I_1 . N_1 es pues el conjunto de proyectos "libres"

Sea $\bar{B}_j = B_j - \sum_{i \in I_1} a_{ij}$, \bar{B}_j representa el presupuesto aún no asignado para el período j .

Supondremos que los proyectos están indexados de tal manera que

$$C_1 \geq C_2 \geq \dots = C_m$$

La resolución por inspección de A_1 se lleva a cabo mediante la siguiente asignación:

$$\left. \begin{array}{l}
 0 \\
 a_{rj} \\
 a_{rj} \\
 \bar{B}_j - \sum_{i=1}^{r-1} x_{ij}^* \\
 0
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 \text{si } r \in I_0 \\
 \text{si } r \in I_0 \\
 \text{si } \sum_{i=1}^{r-1} x_{ij}^* < \bar{B}_j \text{ y } \sum_{i=1}^r x_{ij}^* \leq \bar{B}_j, \quad r \in N_1 \\
 \text{si } \sum_{i=1}^{r-1} x_{ij}^* < \bar{B}_j \text{ y } \sum_{i=1}^r x_{ij}^* > \bar{B}_j, \quad r \in N_1 \\
 \text{si } \sum_{i=1}^{r-1} x_{ij}^* \geq \bar{B}_j, \quad r \in \tilde{N}_1
 \end{array}$$

La función objetivo tendrá el valor:

$$z^* (1) = \sum_{i \in I_1} f_i + \sum_{i \in N_1} \sum C_i x_{ij}^*$$

Operación de redondeo.

Si $Y_i^* = 0,1$ para alguna $i = 1, \dots, m$ la solución no es factible y entonces se procede a evaluar una solución factible por una operación de redondeo que se lleva a cabo de una manera simple:

$$\hat{Y}_i = \begin{cases} Y_i^* & \text{si } Y_i^* = 0 \text{ ó } 1 \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$\hat{Z}(1) = \sum_{i \in I_1} f_i + \sum_{i \in N_1} \sum_j C_i \hat{X}_{ij}$$

$\hat{Z}(1)$ constituye una cota inferior para la solución al problema P.

Hemos hecho el planteamiento para resolver el problema P por el método de Ramificar y Acotar (Branch and Bound)

Algoritmo.

Paso 1.

Poner $i = 1$, $I = \emptyset$, $I = \emptyset$. Resolver el Programa A_i Z^* y X_{ij}^* representan la solución óptima. Obtener $Y_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}^*}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}$

si todas las Y_i son 0 ó 1 fin. La solución obtenida es óptima. Si no, acotar superiormente $U_i = Z^*$, redondear y acotar inferiormente $L_i = \hat{Z}$. Si la $L_i = U_i$, fin. la solución redondeada es solución óptima. Si no ($L_i < U_i$) hacer $i=i+1$, ir al paso 1.

Paso 1.

a) Ramificar. A partir de un nodo l seleccionar una Y^* con valor fraccionario. Crear los arcos (l, r) y $(l, r+1)$ y los nodos r y $r+1$. Resolver A_r con $Y_k = 0$, agregando k al conjunto I_0 y resolver A_{r+1} con $Y_k = 1$, agregando k al conjunto I_1 . Si $Z^*(r)$ ó $Z^*(r+1)$ son menores a L_{i-1} , rechazar el nodo correspondiente. Si se obtiene una solución no factible excluir el nodo.

b) Redondear los nodos r y $r+1$ obteniéndose $\hat{Z}(r)$ y $\hat{Z}(r+1)$

C.1.) Acotar inferiormente. Hacer

$$L_i = \max \left[L_{i-1}, \hat{Z}(r), \hat{Z}(r+1) \right], \text{ rechazar todo nodo con } Z^* < L_i$$

C.2) Acotar superiormente. Seleccionar el nodo l tal que

$Z^*(l) = \max \{ Z^*(k) \}$ para los nodos terminales k . Acotar el

nodo l con $U_l = Z^*(l)$.

Si $L_l = U_l$, fin. Solución Óptima. Si no $l = l + 1$ ejecutar el paso i .

Ejemplo:

i	f _i	a _{i1}	a _{i2}	C _i
1	15	6	2	1.875
2	17	6	6	1.417
3	15	6	7	1.154
4	12	6	6	1.000
5	14	12	3	0.933

i	f _i	a _{i1}	a _{i2}	C _i
6	40	30	35	0.615
7	12	18	3	0.571
8	17	54	7	0.279
9	14	48	4	0.269
10	10	36	3	0.256

$$B_1 = 50$$

$$B_2 = 20$$

$$1) \quad I_0 = \emptyset \quad I_1 = \emptyset$$

$$X_1^* = 6, 6, 6, 6, 12, 14, 0, 0, 0, 0$$

$$X_2^* = 2, 6, 7, 5, 0, 0, \dots, 0$$

$$Y^* = 1, 1, 1, 11/12, 12/15, 14/65, 0, 0, 0, 0$$

$$Z^*(1) = 47 + 30.82 = 77.82$$

$$\hat{Y} = 1, 1, 1, 0, \dots, 0 \quad ; \quad \hat{Z}(1) = 47$$

$$2) I_0 = 6 ; I_1 = 0$$

$$X_{i1}^* = 6, 6, 6, 6, 12, 0, 14, 0, 0, 0$$

$$X_{i2}^* = 2, 6, 7, 5, 0, \dots, 0$$

$$Y_1^* = 1, 1, 1, 11/12, 12/14, 0, 14/21, 0, 0, 0$$

$$Z^*(1) = 47 + 30.2 = 77.2$$

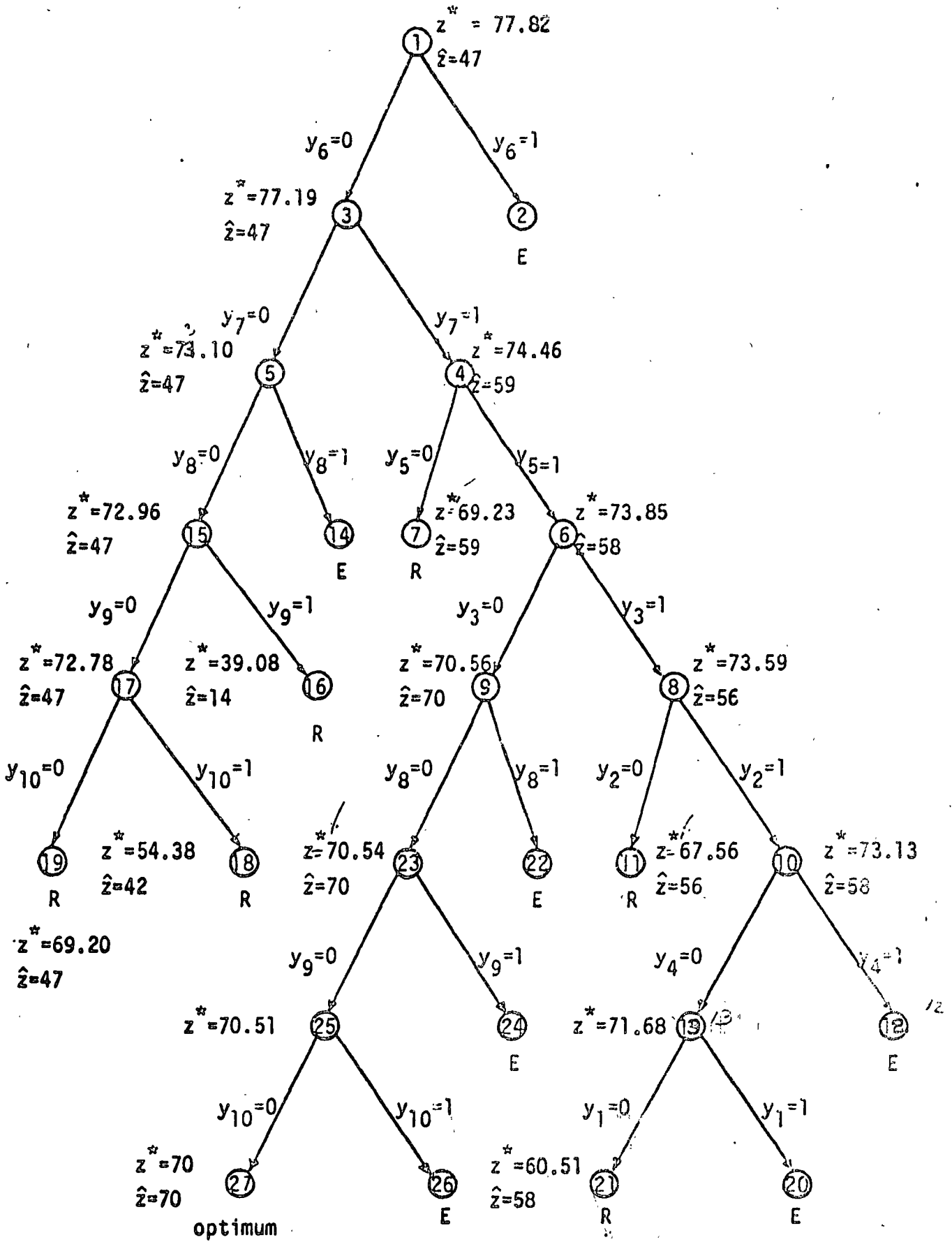
$$\hat{Y}_1 = 1, 1, 1, 0, \dots, 0 ; \hat{Z}(1) = 47$$

$$3) I_1 = 6 ; 0 = \emptyset$$

$$\bar{B}_1 = 20 ; \bar{B}_2 = -15$$

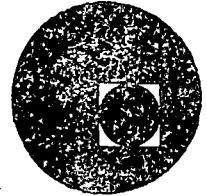
Nodo excluido

CAPITAL INVESTMENT ON INDEPENDENT PROJECTS





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam
ANALISIS DE INVERSIONES



TEMA: MODELOS ALEATORIOS I .

PROF. DR. JESUS ACOSTA FLORES.

Abril, 1978.

MODELOS ALEATORIOS

ANÁLISIS DE INVERSIONES.

M. en I. Jesús Acosta Flores.

Modelo de Markowitz.

n seguridades R_i : rendimiento de la seguridad i que es una variable aleatoria con media μ_i y variancia σ_{ii} y σ_{ij} es la covariancia entre las seguridades i y j .

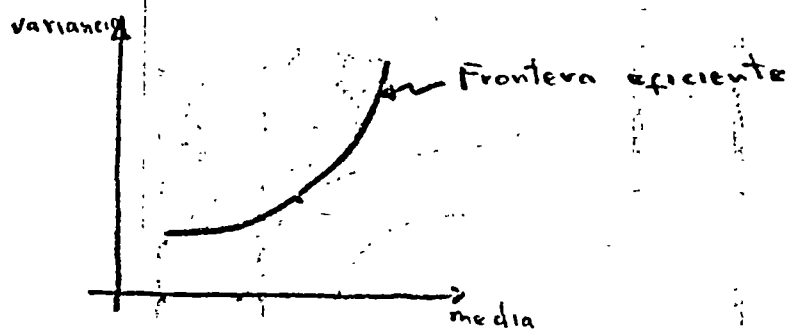
Rendimiento total $R = x_1 R_1 + x_2 R_2 + \dots + x_n R_n$
donde x_i es la fracción de recursos totales invertidos en la seguridad i .

$$E(R) = x_1 \mu_1 + x_2 \mu_2 + \dots + x_n \mu_n$$

$$V(R) = x_1^2 \sigma_{11} + x_2^2 \sigma_{22} + \dots + x_n^2 \sigma_{nn} + 2x_1 x_2 \sigma_{12} + 2x_1 x_3 \sigma_{13} + \dots + 2x_2 x_n \sigma_{2n} \\ = \sum_i \sum_j x_i x_j \sigma_{ij}$$

El problema es $\max f = E(R) - A V(R)$
sujeto a $x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$

Variando el valor de A se obtiene la frontera eficiente.



Ejemplo. Un inversionista va a situar sus fondos entre ahorro, acciones de la Cía. A y acciones de la Cía. B. El inversionista piensa que estas seguridades tienen las siguientes medias y variancias.

Ahorros	$\mu_1 = .040$	$\sigma_{11} = 0$
Acciones de la Cía. A.	$\mu_2 = .068$	$\sigma_{22} = .0009$
Acciones de la Cía. B.	$\mu_3 = .056$	$\sigma_{33} = .0004$
	$\sigma_{12} = 0$	$\sigma_{23} = \pm .0005$
	$\sigma_{13} = 0$	

$$\text{Max } f = .04x_1 + .068x_2 + .056x_3 - A[.0009x_2^2 + .0004x_3^2 + 2x_2x_3\sigma_{23}]$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1$$

$$x_i \geq 0 \quad (i=1,2,3)$$

MODELO DE PROGRAMACION CUADRATICA ENTERA PARA DISTRIBUIR EL PRESUPUESTO.

Sea $E(NPV)_i$: esperanza del valor presente neto del proyecto i .

y $V(NPV)_i$: variancia del valor presente neto del proyecto i .

$$\text{max } E(NPV) - A V(NPV)$$

s.t.

$$d_{11}x_1 + d_{12}x_2 + \dots + d_{1n}x_n \leq D_1$$

$$d_{21}x_1 + d_{22}x_2 + \dots + d_{2n}x_n \leq D_2$$

\vdots

$$d_{T1}x_1 + d_{T2}x_2 + \dots + d_{Tn}x_n \leq D_T$$

$$x_i = 0, 1$$

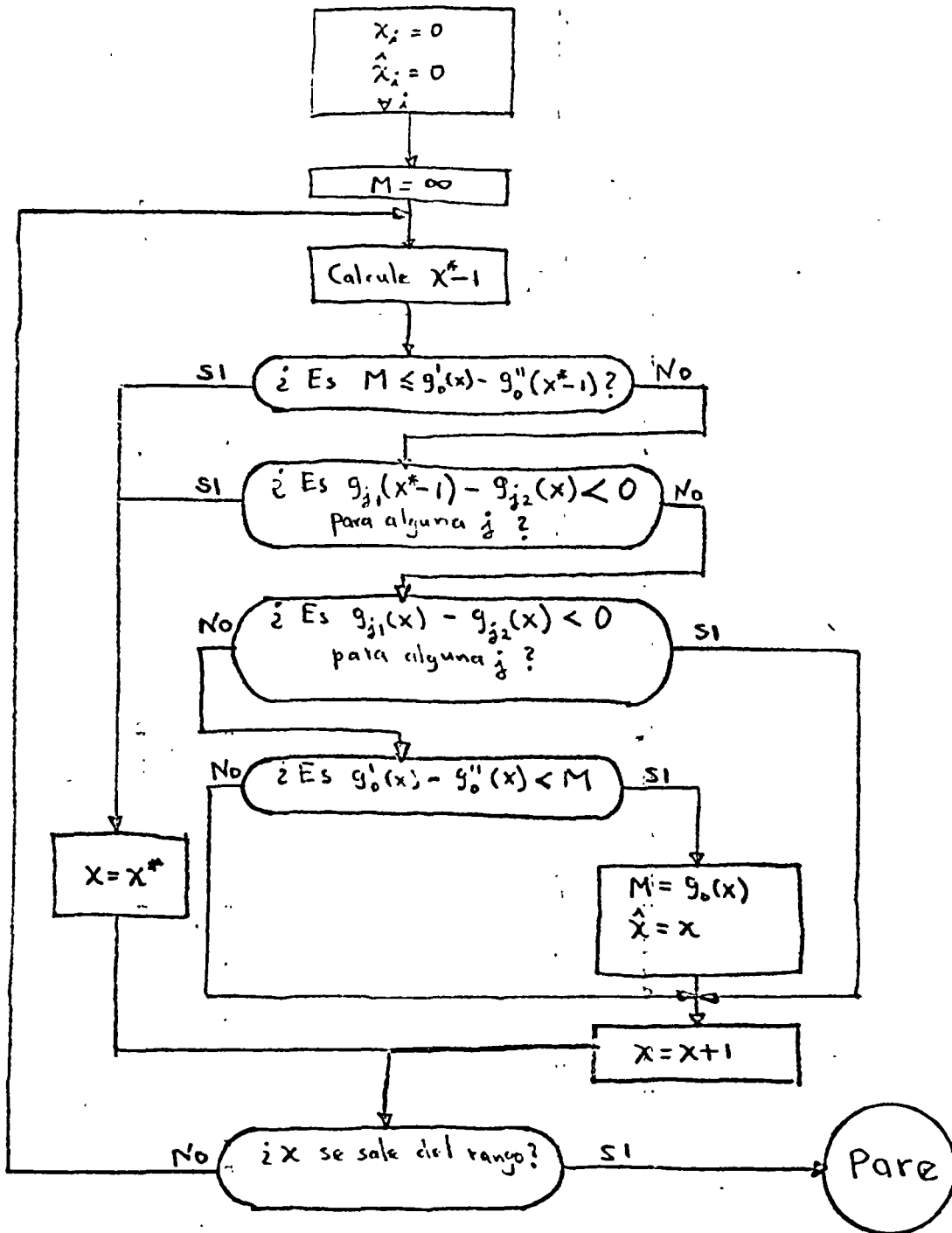
$$\text{max } \sum_{i=1}^n x_i E(NPV)_i - A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j V(NPV)_{ij}$$

Para resolver este problema se utilizará el algoritmo de Lawler y Bell donde se $\min g_0(x) = g_0'(x) - g_0''(x)$

s.a:

$$g_{j_1}(x) - g_{j_2}(x) \geq 0 \quad \forall j.$$

$g_0'(x), g_0''(x), g_{j_1}(x) \text{ y } g_{j_2}(x)$ son monótonicamente decrecientes.



Ejemplo Numérico.

Matriz de variancias, covariancias de proyectos de inversión.

Proyecto	1	2	3	4	5
1	1	3	0.1	0	0.5
2	3	36.1	2.0	0	0
3	0.1	2.0	1.0	0	0.5
4	0	0	0	0	0
5	0.5	0	0.5	0	1

$$\text{Max } 10x_1 + 20x_2 + 5x_3 + 3x_4 + 2x_5$$

$$- A (x_1 + 36x_2 + x_3 + x_5 + 6x_1x_2 + 0.2x_1x_3 + x_1x_5 + 4x_2x_3 + x_3x_5)$$

$$7x_1 + 8x_2 + 3x_3 + 4x_4 + x_5 \leq 18$$

$$2x_1 + 3x_2 + 8x_3 + x_4 - 7x_5 \leq 10$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 1$$

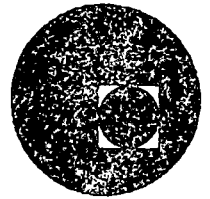
$$x_4 - x_5 \leq 0$$

BIBLIOGRAFIA.

1. Acosta Flores Jesús. "Programación de Inversiones bajo Incertidumbre" Boletín del Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas. 1973.
2. Adelson R. M., "Criteria for Capital Investment: An Approach Through Decision Theory" Operations Research Quarterly 16 (March 1965).
3. Bierman, Harold and Seymour, "The Capital Budgeting Decision" Macmillan 1966.
4. Farrar Donald, "The Investment Decision Under Uncertainty", Prentice Hall 1962.
5. Hillier Frederick "The Derivation of Probabilistic Information for the Evaluation of Risky Investments" Management Science 9, April 1963
6. Mao, James. "Quantitative Analysis of Financial Decisions." 1969.
7. Poulgaen Louis. "Risk Analysis in Project Appraisal" International Bank for Reconstruction and Development. 1970
8. Weingartner H. Martin, "Capital Budgeting of Interrelated Projects: Survey and Synthesis" Management Science 12, March 1966.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



ANALISIS DE INVERSIONES

TEMA: MODELOS ALEATORIOS II.

PROF. DR. JESUS ACOSTA FLORES.

Abril, 1978.

MODELOS ALEATORIOS

ANÁLISIS DE INVERSIONES.

M. en I. Jesús Acosta Flores.

Modelo de Markowitz.

n seguridades R_i rendimiento de la seguridad i que es una variable aleatoria con media μ_i y variancia σ_{ii} y σ_{ij} es la covarianza entre las seguridades i y j .

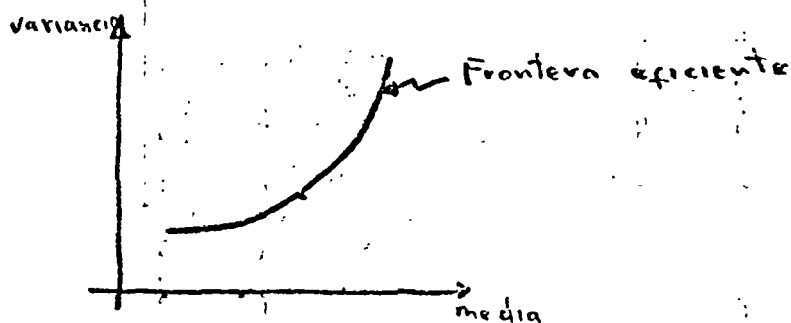
Rendimiento total $R = x_1 R_1 + x_2 R_2 + \dots + x_n R_n$
donde x_i es la fracción de recursos totales invertidos en la seguridad i .

$$E(R) = x_1 \mu_1 + x_2 \mu_2 + \dots + x_n \mu_n$$

$$\begin{aligned} V(R) &= x_1^2 \sigma_{11} + x_2^2 \sigma_{22} + \dots + x_n^2 \sigma_{nn} + 2x_1 x_2 \sigma_{12} + \\ &+ 2x_1 x_3 \sigma_{13} + \dots + 2x_2 x_n \sigma_{2n} \\ &= \sum_i \sum_j x_i x_j \sigma_{ij} \end{aligned}$$

El problema es $\max f = E(R) - A V(R)$
sujeto a $x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$

Variando el valor de A se obtiene la frontera eficiente.



Ejemplo. Un inversionista va a situar sus fondos entre ahorro, acciones de la Cía. A y acciones de la Cía. B. El inversionista piensa que estas seguridades tienen las siguientes medias y variancias.

Ahorros .	$\mu_1 = .040$	$\sigma_{11} = 0$
Acciones de la Cía. A.	$\mu_2 = .068$	$\sigma_{22} = .0009$
Acciones de la Cía. B.	$\mu_3 = .056$	$\sigma_{33} = .0004$
	$\sigma_{12} = 0$	$\sigma_{23} = \pm .0005$
	$\sigma_{13} = 0$	

$$\max f = .04x_1 + .068x_2 + .056x_3 - A[.0009x_2^2 + .0004x_3^2 + 2x_2x_3\sigma_{23}]$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1$$

$$x_i \geq 0 \quad (i=1,2,3)$$

MODELO DE PROGRAMACION CUADRATICA ENTERA PARA DISTRIBUIR EL PRESUPUESTO.

Sea $E(NPV)_i$: esperanza del valor presente neto del proyecto i .

y $V(NPV)_i$: variancia del valor presente neto del proyecto i .

$$\max E(NPV) - A V(NPV)$$

s.m.

$$d_{11}x_1 + d_{12}x_2 + \dots + d_{1n}x_n \leq D_1$$

$$d_{21}x_1 + d_{22}x_2 + \dots + d_{2n}x_n \leq D_2$$

\vdots

$$d_{T1}x_1 + d_{T2}x_2 + \dots + d_{Tn}x_n \leq D_T$$

$$x_i = 0, 1$$

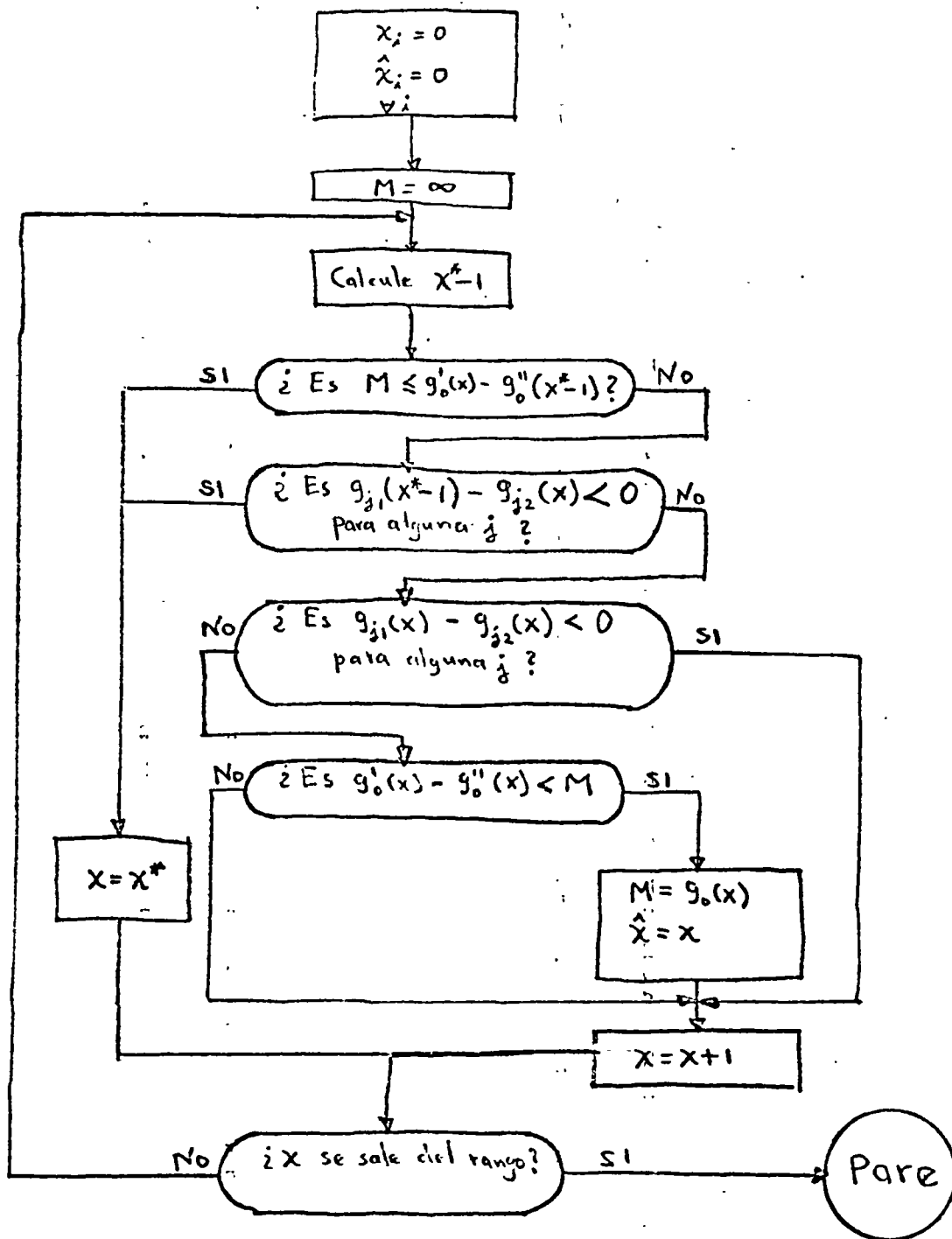
$$\max \sum_{i=1}^n x_i E(NPV)_i - A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j V(NPV)_{ij}$$

Para resolver este problema se utilizará el algoritmo de Lawler y Gill donde se $\min g_0(x) = g_0'(x) - g_0''(x)$

s.a.

$$g_{j_1}(x) - g_{j_2}(x) \geq 0 \quad \forall j.$$

$g_0'(x), g_0''(x), g_{j_1}(x) \text{ y } g_{j_2}(x)$ son monótonicamente no decrecientes.



Ejemplo Numérico.

Matriz de variancias, covariancias de proyectos de m-
versión.

Proyecto	1	2	3	4	5
1	1	3	0.1	0	0.5
2	3	36.1	2.0	0	0
3	0.1	2.0	1.0	0	0.5
4	0	0	0	0	0
5	0.5	0	0.5	0	1

$$\text{Max } 10x_1 + 20x_2 + 5x_3 + 3x_4 + 2x_5$$

$$- A (x_1 + 36x_2 + x_3 + x_5 + 6x_1x_2 + 0.2x_1x_3 + x_1x_5 + 4x_2x_3 + x_3x_5)$$

$$7x_1 + 8x_2 + 3x_3 + 4x_4 + x_5 \leq 18$$

$$2x_1 + 3x_2 + 8x_3 + x_4 - 7x_5 \leq 10$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 1$$

$$x_4 - x_5 \leq 0$$

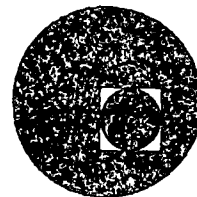
BIBLIOGRAFIA.

1. Acosta Flores Jesús. "Programación de Inversiones bajo Incertidumbre" Boletín del Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas. 1973.
2. Adelson R. M., "Criteria for Capital Investment: An Approach Through Decision Theory" Operational Research Quarterly 16 (March, 1965).
3. Bierman, Harold and Seymour, "The Capital Budgeting Decision" Macmillan 1966.
4. Farrar Donald, "The Investment Decision Under Uncertainty" Prentice Hall 1962.
5. Hillier Frederick "The Derivation of Probabilistic Information for the Evaluation of Risky Investments" Management Science 9, April 1963
6. Mao, James. "Quantitative Analysis of Financial Decisions." 1969.
7. Pouliquen Louis. "Risk Analysis in Project Appraisal" International Bank for Reconstruction and Development. 1970
8. Weingartner H. Martin, "Capital Budgeting of Interrelated Projects: Survey and Synthesis" Management Science 12, March 1966.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

ANALISIS DE INVERSIONES



TEMA: APLICACION.

PROF. ING. FRANCISCO GOROSTIZA PEREZ.

Abril, 1978.

OBJETIVOS GENERALES

El transporte ferroviario, más que un sector dentro de la economía propiamente dicho, constituye un instrumento de enlace entre todas las actividades. El desarrollo económico, la evolución general del país y el transporte por vía férrea establecen una serie de interacciones, de tal manera que ejercen influencias mutuas que los conforman e imponen características y formas estructurales específicas.

En esas condiciones, los propósitos del transporte por ferrocarril deben ir más allá de los aspectos internos del propio sector y formar parte inseparable de los planes de desarrollo económico y social del país, y las metas específicas de las empresas ferroviarias deben necesariamente estar inscritas en el contexto de los objetivos nacionales.

El ferrocarril, a través de los servicios que presta, realizando cambios y tomando las medidas necesarias dirigidas a su evolución deseable y consciente, debe

estar en condiciones de contribuir en la mayor medida posible al logro de los objetivos nacionales y constituir, junto con otros medios que maneja el Estado, un instrumento eficaz para el fomento del desarrollo y la obtención de metas de mejoramiento social.

Internamente como una empresa pública, los Ferrocarriles deben buscar en forma permanente un equilibrio en el mercado de los transportes y la mayor capacidad y eficiencia, al menor costo para la colectividad, para proporcionar aquellos servicios de transporte de pasajeros, carga, express y correo, que por sus características, naturaleza económica y distancia de acarreo, encuentren en la vía férrea el modo más adecuado para su transportación.

OBJETIVOS POR PROGRAMAS

Los ferrocarriles mexicanos tienen un programa básico que es el de Transportes, y distintos programas de apoyo de esa actividad que hemos subdividido en los de Vía y Estructuras, Fuerza Motriz y Equipo de Arrastre, Telecomunicaciones, Señales y Electricidad, Tráfico, Sistemas, Administración General, Capacitación y Servicio Médico. Cabe indicar que algunas empresas ferroviarias por su tamaño, magnitud de las operaciones, organización administrativa y condiciones contractuales, no cuentan con todos los programas citados.

2.2.1. Programa de Transportes

El Programa de Transportes, actividad primordial de la Empresa, tiene por objeto el producir con la mayor eficiencia y al menor costo posible, los servicios de transporte de carga, pasajeros, express y correo, utilizando para ello las instalaciones, equipos y recursos humanos, materiales, financieros y de organización de que disponen los Ferrocarriles.

Programa de Vía y Estructuras

Muy importante entre los programas de apoyo es el de Vía y Estructuras, cuya finalidad es realizar los trabajos necesarios para mantener en buen estado físico y sin deterioro del nivel de calidad, los elementos que constituyen las vías, y en general, de las estructuras y edificaciones de todo el sistema, a través de las labores permanentes de conservación preventiva y correctiva, así como llevar a cabo los proyectos de mejoramiento y modernización de las mismas, para garantizar la seguridad y la eficiencia en la operación y para adecuar la infraestructura a los requerimientos del transporte moderno y del crecimiento del tráfico. .

Programa de Fuerza Motriz y Equipo de Arrastre

El Programa de Fuerza Motriz y Equipo de Arrastre tiene por propósito el conservar en buenas condiciones las unidades de fuerza tractiva y el

equipo de arrastre, ya sea como parte de un programa de mantenimiento preventivo, consistentes en inspecciones y reparaciones periódicas, o correctivo, cuando las intervenciones en taller obedecen a fallas imprevistas o accidentes.

Programa de Telecomunicaciones, Señales y Electricidad

Garantizar en forma permanente y con alto grado de confiabilidad el funcionamiento de los sistemas de radiocomunicación, telefonía y telégrafo, el control de tráfico centralizado, las señales de protección en cruceros a nivel y las redes de electricidad y alumbrado, es el objetivo primordial del Programa de Telecomunicaciones, Señales y Electricidad, que se ocupa de la eficiente conservación de las instalaciones existentes y de la introducción de nuevos procedimientos, equipos e instalaciones fijas. Los Ferrocarriles Chihuahua al Pacífico y Sonora - Baja California, tienen el Programa de Telecomunicaciones, Señales y Electrici

dad incorporado al de Vía y Estructuras.

Programa de Tráfico

La finalidad de este programa es el realizar estudios y promociones encaminadas a motivar al usuario por el empleo cada vez más frecuente del ferrocarril, a través del contacto directo con los mismos, profundizando en el conocimiento de sus problemas y estudiando, junto con otras áreas responsables, las necesidades y características de los equipos que deben adquirirse para sustituir las unidades que deben darse de baja y para hacer frente a las necesidades de crecimiento del tráfico. En el caso de la Empresa Servicio de Coches Dormitorio y Conexos, el Programa de Tráfico constituye su actividad básica, ya que el transporte queda a cargo de las empresas ferroviarias.

Programa de Sistemas

El Programa de Sistemas tiene por objeto la implantación progresiva y manejo del sistema cen-

tral de información y control de operaciones, de los sistemas de control de patios y en general de la operación de los sistemas de cómputo electrónico. Este Programa es de reciente creación y la única empresa que lo ha comenzado a desarrollar formalmente es la de los Ferrocarriles Nacionales de México.

Programa de Administración General

El objetivo del Programa de Administración General es el proporcionar el apoyo administrativo y dirigir, controlar y coordinar la totalidad de las labores que desarrolla la Empresa, en búsqueda de alcanzar los niveles de eficiencia que son necesarios para lograr los objetivos de estos Ferrocarriles.

Programa de Capacitación

El Programa de Capacitación ha sido concebido con la idea de incrementar el rendimiento del personal, entrenándolo en la ejecución de los trabajos

que lleva a cabo o para los que son propios de los puestos a que será promovido, y en el conocimiento de las nuevas técnicas del transporte que se van implantando en los Ferrocarriles.

Programa del Servicio Médico.

Preservar la salud, prevenir y controlar las enfermedades y propugnar por el bienestar físico y mental del trabajador ferrocarrilero, mediante la asistencia médica externa y hospitalaria, es el objetivo principal del programa del Servicio Médico. El Ferrocarril del Pacífico y los Ferrocarriles Nacionales de México tienen servicio médico propio y el resto de las Empresas, incluida el Servicio de Coches Dormitorio y Conexos, se encuentran incorporados al Instituto Mexicano del Seguro Social.

DESCRIPCION DE PROGRAMAS Y SUBPROGRAMAS

01. TRANSPORTES

Ejecución de los servicios de transporte de carga, pasajeros, -
express y correo por vía férrea.

01. Servicio de Estaciones

Servicios de documentación y almacenaje de carga y - -
express, así como de venta de boletos para el tráfico de -
pasajeros.

02. Servicio de Patios

Servicios de recepción, clasificación y formación de ca- -
rros y trenes en los patios del sistema.

03. Servicio de Trenes de Carga

Ejecución del servicio de transporte de carga.

04. Servicio de Trenes de Pasajeros

Ejecución del servicio de transporte de pasajeros.

05. Servicio de Trenes Mixtos

Ejecución de los servicios de carga y pasajeros en trenes
mixtos.

02. RED FERREA

Conservar en buen estado físico y ampliar la capacidad de la --
vía y las obras de infraestructura que se utiliza en la prestación
de los servicios de transporte.

01. Conservación de la Vía

Conservación preventiva y correctiva de los elementos - -
que constituyen las vías.

02. Rehabilitación de la Vía

Mejoramiento y modernización de las vías.

03. Modificaciones al Trazo

Relocalización de tramos de fuerte pendiente y curvatura.

04. Ampliación y Construcción de Laderos

Trabajos de ampliación de capacidad de laderos y construc_
ción de nuevos.

05. Patios y Terminales

Conservación, ampliación y cambio de localización de pa--
tios.

06. Puentes y Obras de Arte

Conservación de los puentes y alcantarillas existentes, - -
sustitución de estructuras provisionales por definitivas y -
aumento de la capacidad de las mismas.

07. Edificios y Casas Habitación

Conservación, rehabilitación, ampliación y construcción --
de edificios y casas habitación para los trabajadores de - -
vía.

08. Talleres

Conservación, rehabilitación, ampliación y construcción de
obras nuevas en talleres.

09. Plantas de Agua y Combustible

Mantenimiento, sustitución e instalación de plantas nuevas-
de abastecimiento de agua y combustible.

10. Básculas

Reparar, ajustar y verificar básculas en funcionamiento y -
sustituir e instalar nuevos equipos.

11. Maquinaria de Vía

Proporcionar la maquinaria de vía necesaria y mantener --
y reparar la existente.

12. Comunicaciones, Señales y Electricidad

Garantizar en forma permanente y con alto grado de confiau
bilidad el funcionamiento eficiente del sistema de comunicau
ciones, señales y electricidad, a través del mantenimiento
adecuado de las facilidades existentes y de las inversiones--
en nuevo equipo e instalaciones.

03. FUERZA MOTRIZ Y EQUIPO DE ARRASTRE

Mantener, reparar y ampliar la capacidad en materia de fuer--
za tractiva y equipo de arrastre.

01. Locomotoras

Proporcionar la fuerza tractiva necesaria para ofrecer los
servicios de transporte y mantener y reparar las locomotou
ras existentes.

02. Carros de Carga

Proporcionar el equipo de arrastre necesario para el ser--

vicio de transporte de carga, y mantener y reparar las - -
unidades existentes.

03. Coches de Pasajeros

Proporcionar el equipo de arrastre necesario para el ser-
vicio de transporte de pasajeros y mantener y reparar las-
unidades existentes.

04. Autovías

Proporcionar las autovías necesarias para prestar servi--
cio de transporte en este tipo de unidades y mantenerlas y-
reparar las existentes.

05. Equipo de Trabajo

Suministrar el equipo de trabajo necesario y conservar en-
buen estado físico y reparar las unidades existentes.

06. Maquinaria para Talleres

Proporcionar la maquinaria para talleres necesaria para -
los trabajos de reparación y mantenimiento de la fuerza - -
motriz y el equipo de arrastre, y su conservación en buen-
estado físico.

04. TRAFICO

Promoción del tráfico y estudio del mercado de los transportes.

01. Tráfico de Carga

Promoción del tráfico de carga y control del suministro y movimiento de los carros.

02. Tráfico de Pasajeros

Promoción del tráfico de pasajeros.

03. Tráfico de Express

Promoción y ejecución del servicio de express.

07. CAPACITACION

Capacitación técnica del personal ferrocarrilero.

10. BIENESTAR SOCIAL

Prestar servicios sociales a los trabajadores ferrocarrileros.

01. Servicio Médico

Preservar la salud, prevenir y controlar las enfermedades y propugnar por el bienestar físico y mental del traba-

jador ferrocarrilero y sus familiares.

02. Servicios Sociales

Prestación de servicios sociales de diferentes tipos y facilidades para la práctica del deporte.

"LA PLANEACION, PROGRAMACION Y FINANCIAMIENTO DE LAS INVERSIONES EN VIAS FERREAS"

Ing. Francisco J. Gorostiza *

PLANES

El reconocimiento de que los recursos necesarios para las inversiones en obras y equipo ferroviario y en general para todo tipo de gastos en creación, ampliación o consolidación del capital social básico que permite promover y sostener la evolución - - armónica y acelerada de la sociedad en que vivimos, son muy superiores a los disponibles, hace evidente la necesidad de racionalizar su uso, de tal suerte que sea posible obtener el máximo rendimiento de ellos, para el pronto logro de los objetivos buscados.

En el análisis de las distintas alternativas de desarrollo del sector ferroviario, las técnicas de planeación y programación resultan un valioso instrumento, pero éstas no tienen carácter universal ni pueden aplicarse indiscriminadamente, sobre todo en países como los nuestros que tienen problemas específicos, - - aunque análogos, que demandan soluciones particulares, por lo que es necesario hacer serias reflexiones e implantar métodos y procedimientos acordes a nuestra realidad y medios disponibles.

Esas técnicas pueden ir desde esquemas formales que contienen las acciones a realizar, hasta planteos sencillos usados en la toma de decisiones, sin pretender que constituyan marcos rígidos que condicionen totalmente las tareas por realizar, y su utilidad y validez radica en la coherencia que aseguran entre objetivos y medios disponibles.

Entre las fases fundamentales en la elaboración de planes de inversiones en obras de infraestructura y equipos para ferrocarriles, destacan la fijación de objetivos y de lineamientos de política general para el sector; la preparación de un diagnóstico - de la situación prevaleciente; los pronósticos de tráfico por categorías y su distribución; la proposición de mejoramientos y medidas a tomar para asegurar el movimiento del tráfico futuro y el equilibrio en el mercado de los transportes; los juicios que permitan - - probar la factibilidad económica de las iniciativas y su coherencia con el logro de las metas fijadas; la integración de un programa - -

* Jefe de la Unidad de Programación de los
Ferrocarriles Nacionales de México

que tome en cuenta las prioridades establecidas y los recursos -- asignados en el tiempo a cada uno de los proyectos; y el análisis -- de las fuentes probables de financiamiento.

En ese orden de ideas en el presente trabajo tratare-- mos lo referente a cada una de esas etapas del proceso de planca-- ción de las inversiones ferroviarias y nos ocuparemos en primer-- término de los objetivos primordiales para el sector.

OBJETIVOS

Difícilmente podemos encontrar una actividad produc-- tiva y aspectos de la vida social, política, cultural y administrati-- va de un pueblo, que no estén ligadas de alguna manera directa o -- indirecta con el fenómeno del traslado de personas y bienes, por -- lo que los objetivos de un plan de transportes, en los que se inscri-- ban los programas de inversiones en infraestructura y equipo fe-- rroviario, deben ir más allá de los problemas internos del propio sector y formar parte inseparable de los planes de desarrollo eco-- nómico y social de la Nación.

Es por esas razones que los objetivos de los planes de transporte no podrán ser diferentes de los de crecimiento econó-- mico, industrialización, descentralización de actividades, desa-- rrollo regional, aprovechamiento de recursos existentes, crea-- ción y fortalecimiento de los polos de desarrollo, ordenación del -- uso de los espacios urbanos, fomento del comercio exterior, dis-- tribución del ingreso y salvaguarda de los valores y cultura pro-- pios, y en general, el mejoramiento de los niveles de bienestar y -- cambio en las estructuras sociales, preocupaciones que son co-- mún denominador a todos los países que tratan, como nosotros, -- de impulsar su desenvolvimiento con independencia y estabilidad.

POLITICA DE TRANSPORTES

Entre otros problemas que más adelante se detallan, -- cabe mencionar uno que es frecuente que tenga lugar en los países del tercer mundo, y que es el de la falta de una política de trans-- portes, en la cual puedan ubicar sus acciones las empresas ferro-- viarias, las que al carecer de orientaciones y directrices específi

cas, actúan haciendo los mejores esfuerzos que les permite el tiempo, los recursos y su propia organización, sin que necesariamente sean los que más beneficien al transporte y al país en su conjunto.

En tal virtud una tarea importante e inaplazable por realizar y sin la cual es difícil y muchas veces estéril cualquier esfuerzo de planeación, es la de definir una clara y precisa política de transportes, en la cual de manera natural se apoyen los planes de transporte, los programas de inversiones en infraestructura, las estrategias para producción e importación de equipos y refacciones, y los planes de aprovechamiento y uso de los energéticos.

En esas políticas deberán también basarse las medidas reglamentarias, tarifarias e impositivas que en su conjunto conduzcan al logro de los objetivos nacionales, al mejor aprovechamiento de los recursos existentes, a una coordinación entre los diferentes modos de transporte y en general a la máxima contribución del sector al desenvolvimiento del país. De otra manera podemos incurrir en gastos y desperdicios innecesarios, en deformaciones en la economía y en cargas excesivas para el Estado.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Las metas específicas del sector inscritas en el contexto del logro de los objetivos nacionales y dentro del papel que en el proceso de desenvolvimiento general los ferrocarriles deben desempeñar, pueden resumirse en las siguientes ideas:

- 1) Satisfacer las demandas de transporte de personas y bienes con una eficiencia y un costo tal que la vía férrea absorba la parte del tráfico que económicamente más conviene a la nación, teniendo en cuenta las necesarias transformaciones que operarán en el sector transporte en los próximos años, y buscando en forma permanente el mejor uso de los recursos de toda índole que se manejan, destacando los humanos, los energéticos y las de inversión en infraestructura y equipos.

- 2) Tender a la mejor coordinación y complementación entre los diferentes modos de transporte, de tal suerte que - - cada uno de ellos tome a su cargo el tráfico que le co- -- rresponde dentro de un deseable equilibrio en el mercado de los transportes.
- 3) Disminuir al máximo posible los costos totales de transportación de bienes y personas que, por su naturaleza y distancia de recorrido, encuentran en el transporte ferroviario el modo más indicado para su movilización y al -- mismo tiempo hacer posible que los precios por los servicios sean tales que se tienda al equilibrio financiero de las Empresas, aliviando la carga para el Estado, eliminando las nocivas deformaciones que a la economía pueden ocasionar los subsidios al transporte y proporcionando las ventajas, libertad y flexibilidad que la autosufi- - ciencia da a las administraciones ferroviarias.
- 4) Extender los sistemas, ampliar y modernizar las instalaciones, y diversificar los servicios y sus modalidades -- para contribuir en la mayor medida posible al alcance de los objetivos nacionales ya mencionados y constituir junto con otros medios del Estado, un instrumento eficaz -- para el fomento de las acciones de desarrollo y de distribución del ingreso.

Para lograr lo anterior es necesario tomar una serie de medidas operativas, tarifarias, de reformas a la administración y a la organización; buscar en forma permanente la reducción de costos y la más alta productividad y eficiencia en todos los sentidos; así como de la canalización de importantes recursos de inversión para mejoramientos y adquisiciones de todo tipo que en su conjunto permitan la coherencia y compatibilidad de los planteamientos mencionados.

A continuación, por las limitaciones de este trabajo, - y no porque sean más importantes, nos referiremos únicamente a las inversiones, y mencionaremos los más importantes problemas que sobre el particular afrontan los ferrocarriles Mexicanos.

DIAGNOSTICO

Parte importante de los esfuerzos en la preparación de los planes de inversiones en vías férreas, deben orientarse al diagnóstico de la situación prevaleciente y al levantamiento de un inventario de los medios disponibles, que deberá cubrir no solamente el estado físico de las instalaciones y el material existente, sino de su grado de utilización, y en general de la identificación de los problemas y obstáculos que impiden el mejoramiento en la calidad de los servicios y absorber la demanda que dentro del mercado de los transportes le corresponde a la vía férrea.

Cabe reconocer que en la mayor parte de nuestros países ya se cuenta con un sistema básico ferroviario bastante completo y que los inventarios de fuerza motriz y equipo de arrastre alcanzan cifras de consideración, lo que constituye un patrimonio del que debemos obtener el máximo rendimiento.

Como consecuencia de la concentración regional de las actividades que caracteriza a la mayor parte de los países en desarrollo, las redes ferroviarias presentan en general una alta densidad de tráfico en parte de sus instalaciones, en las cuales frecuentemente ya hay serios problemas de saturación y en las que por el fuerte crecimiento de la demanda que se espera, será necesario realizar importantes inversiones en el futuro próximo, para garantizar la capacidad y niveles de servicio adecuados, así como para no incurrir en costosas demoras y deficiencias que podrían traducirse en diferimiento de parte del tráfico a otros modos de transporte.

En contraste existe un alto porcentaje de las líneas e instalaciones fijas que tienen muy bajo índice de utilización, lo que constituye una nociva inmovilización de inversiones y conduce a la necesidad de sostener en algunos casos, cuando hay presiones políticas y condicionantes sociales inevitables, servicios y ramales improductivos que afectan seriamente las finanzas de las empresas.

Otro fenómeno que vale la pena citar es la existencia de numerosas obras provisionales y de baja capacidad, y en el caso de México, es el de los puentes el que más nos preocupa, lo que además de los elevados gastos de mantenimiento en que se

incurre, constituyen un riesgo en la operación y no permiten el uso del equipo moderno de grandes pesos por eje en una parte significativa de los sistemas.

Conviene destacar en materia de vías el hecho de que un gran número de líneas datan del siglo pasado y principios del presente y que sus especificaciones geométricas ya no corresponden a las características modernas del equipo, ni a las necesidades actuales del transporte, por lo que es preciso canalizar esfuerzos importantes al mejoramiento y modernización de muchas de las instalaciones.

Asimismo, subsisten aún centros de actividad económica donde existen recursos potenciales que para su aprovechamiento y desenvolvimiento requieren de los servicios del transporte ferroviario de alta calidad, lo que en muchos casos se traduce en la necesidad de construir nuevas líneas o acortamientos en las redes existentes.

Otro aspecto que debe preocuparnos es el de las necesidades de expansión de los patios, terminales y talleres de mantenimiento del equipo, en zonas en las que por el crecimiento de las poblaciones no existen posibilidades de ampliación y se precisa de cambios de localización a sitios donde los terrenos disponibles son escasos. Es por lo tanto indispensable hacer las previsiones con la suficiente anticipación para adquirir el derecho de vía oportunamente y tener en cuenta las expectativas de desarrollo y evolución deseable de las ciudades, en cuya orientación y limitación pueden influir considerablemente las instalaciones ferroviarias.

Uno de los problemas más importantes que tienen que resolver las administraciones ferroviarias y que constituye frecuentemente la médula de los Programas de Inversiones, es el que corresponde a la adquisición de fuerza motriz, carros de carga y coches de pasajeros, para absorber el crecimiento de la demanda y para satisfacer las necesidades de reposición de equipo, y en menor escala los requerimientos de maquinaria para talleres de reparación y mantenimiento de vía. Este renglón debe ser motivo de cuidadosos análisis en razón de la gran cantidad de recursos en divisas extranjeras que se requieren y por las grandes posibilidades que existen de aumentar los índices de rendi-

miento que en la actualidad son sumamente bajos.

En términos de la necesidad de dar mejor uso y aprovechamiento a nuestros recursos energéticos, en el futuro próximo operarán transformaciones radicales en el transporte sobre todo en lo que toca a la suerte del autotransporte de carga a largas distancias, y el papel de los ferrocarriles para el transporte interurbano de pasajeros a medianas distancias y el tráfico suburbano en las grandes zonas metropolitanas, circunstancia que debe ser motivo de nuestra preocupación por la importancia de los recursos presupuestales que deberán manejarse y porque se trata de proyectos de largo período de maduración.

POLITICA DE INVERSIONES

En ese estado de las cosas podemos resumir las necesidades más apremiantes en materia de inversiones y los conceptos a considerar en la formulación de planes en la materia de la siguiente manera:

- 1) Tener implícita la idea de dar primordial importancia y asignar alta prioridad a las labores de conservación de las instalaciones fijas y equipo existente, a efecto de obtener de ellas el máximo rendimiento y prolongar lo más posible su vida útil y evitar que por su desatención nos veamos obligados a realizar inversiones prematuras e innecesarias. Lo anterior supone en primer término actualizar los trabajos de mantenimiento que equivocadamente o por falta de recursos se han venido difiriendo.
- 2) Prestar especial atención a las inversiones en aumento de la capacidad y mejoramiento de los niveles de servicio a través de la ampliación de laderos, patios, terminales, talleres, estaciones, y otras edificaciones. Cuando las ampliaciones signifiquen cambio de localización habrá que tomar en cuenta el hecho de que las inversiones futuras deben influir en una verdadera planificación del ordenamiento urbano, un óptimo aprovechamiento del suelo disponible y un efectivo apoyo al desenvolvimiento de las actividades industriales y a las políticas de descentralización y desarrollo regional.

- 3) Canalizar importantes recursos al mejoramiento y aumento de la seguridad y eficiencia en la explotación, a través del desarrollo de las telecomunicaciones e implantación de sistemas de control de operaciones, cuando los beneficios derivados de los proyectos superen a las inversiones necesarias.
- 4) Continuar los estudios y medidas encaminadas a la supresión de servicios, líneas y ramales improductivos, cuando no existan razones económicas para seguirlos sosteniendo, ni subsistan grupos de población que por la falta de recursos o de otros medios de comunicación, encuentren en el transporte ferroviario la única vía de acceso con el resto del territorio nacional.
- 5) Proseguir, conscientes de que no será una meta alcanzable en el corto plazo, el proceso de sustitución de puentes y en general obras provisionales por definitivas, dando prioridad a las líneas que por los volúmenes y naturaleza del tráfico soportado, o por las características del clima, sea más urgente y económicamente justificable su atención.
- 6) Intensificar las labores de rehabilitación integral de las vías más congestionadas, incluyendo el cambio de riel y aumento de su calibre, cuando su estado físico y la economía así lo justifiquen, e introduciendo los adelantos tecnológicos en materia de vía elástica y soldadura de tramos de gran longitud, así como impulso a trabajos que van desde el refuerzo de terracerías y taludes, hasta la relocalización de tramos de alta pendiente y curvatura, cuando la magnitud de los ahorros en costo de transporte y mantenimiento, garanticen la redituabilidad del capital involucrado en las inversiones.
- 7) Construcción de nuevas líneas y acortamientos entre tramos existentes, cuando su influencia en la promoción del desarrollo de otros sectores, su participación en el logro de los objetivos nacionales o la magnitud de los volúmenes de tráfico, justifiquen la realización de los proyectos.
- 8) Adquisición de la fuerza motriz y equipo de arrastre que-

vaya demandando la evolución del tráfico y los requerimientos de sustitución de equipo obsoleto o en mal estado físico, teniendo en cuenta el indispensable aumento de la productividad y la capacidad de la industria nacional para hacer frente a parte de las necesidades de producción y las transformaciones tecnológicas que se esperan, especialmente la electrificación parcial de los sistemas.

- 9) Iniciar los estudios, proyectos y tomar las medidas necesarias, así como canalización de fondos presupuestales, para anticiparse a los requerimientos que en el futuro demandará el transporte masivo de pasajeros.

PREVISIONES DE TRAFICO

Definidos los principales lineamientos de política de inversiones la evaluación del tráfico futuro es una tarea esencial. Como las inversiones en obras y equipos ferroviarios generalmente tienen una duración de vida considerable, las decisiones sobre el particular implican necesariamente previsiones de tráfico a largo plazo que son riesgosas y difíciles de establecer. Sin embargo es evidente que será mejor hacer hipótesis gruesas a sabidas que podemos estar equivocados, que no hacerlas.

Teóricamente las previsiones de tráfico deberían desarrollarse globalmente siguiendo tres fases fundamentales: La identificación de los sitios y volúmenes de la producción y consumos futuros, incluyendo las importaciones y las exportaciones e hipótesis en cuanto a la importancia relativa que tendrán los núcleos de actividad; la conversión de esos datos en volúmenes de tráfico, clasificados por origen y destino; y por último, el reparto de esos flujos por modos de transporte, entre los que se cuenta desde luego la vía férrea.

Sin embargo un método como el descrito tiene dificultades reales en su aplicación en los países como los nuestros, ya que las previsiones entrañan la existencia de planificación de otros sectores que en la mayor parte de las veces carecemos, y de la disponibilidad de pronósticos a largo plazo en cuanto a la evolución de los mismos que casi siempre se desconocen, a excepción de unas cuantas industrias básicas en las que afortunadamente ya-

existe un panorama más o menos claro de sus niveles de producción a un horizonte tal que permite hacer especulaciones en cuanto al comportamiento futuro del tráfico de ese tipo de artículos.

Es por eso que puede ser más práctica la aplicación - de métodos econométricos simples que relacionen algunas variables independientes, o parámetros para el horizonte seleccionado, con la demanda del tráfico, o bien considerar la evolución de los flujos de transporte en el tiempo y efectuar extrapolaciones de las tendencias del pasado para hacer previsiones al futuro, métodos que no obstante su poca confiabilidad han sido hasta el momento frecuentemente utilizados en estudios de transporte en países de desarrollo económico relativamente bajo.

Las informaciones anteriores nos permitirán hacer - previsiones en cuanto al grado de utilización que tendrán las instalaciones fijas y los equipos disponibles, y al compararlo, con su capacidad y estado físico, servirán de base para la generación de las iniciativas y alternativas de inversión que posteriormente se evaluarán para establecer las prioridades y programas de acción, atendiendo a sus efectos primordiales.

EVALUACION DE PROYECTOS

La planeación de las inversiones va desde los planteamientos teóricos y conceptuales, hasta las fases prácticas y ejecutivas, en las que las técnicas de evaluación de proyectos son --- instrumentos valiosos, tanto para el análisis de alternativas, como para el establecimiento de prioridades, cuantificación de la medida en que se alcanzan los objetivos buscados y el cálculo del rendimiento del capital involucrado en cada una de las iniciativas, por lo que conviene esbozar a grandes rasgos los principales criterios y orientaciones en esa materia.

CRITERIOS FINANCIEROS Y ECONOMICOS

Con los sistemas actuales de tarifas y las características del mercado de los transportes, la evaluación de inversiones basada exclusivamente en consideraciones financieras entraña serias dificultades y no deja de ser demasiado parcial, ya que

subsisten problemas de evaluación económica, al tratar de analizar servicios públicos indispensables o proyectos de costo extremadamente elevado, en los que los efectos no son apropiados para estudios fundamentados en mecanismos exclusivamente financieros.

El equilibrio financiero si bien es deseable, en muchos casos no constituye el objetivo básico de la gestión de las empresas ferroviarias, y dado el papel promotor e instrumento valioso de política económica que constituye este modo de transporte, el Estado contribuye generalmente a hacer frente a los requerimientos de inversión en ampliación y modernización de las instalaciones y a soportar déficits de operación que casi siempre son de consideración.

En esas circunstancias las discusiones sobre inversiones en lo general deberán estar apoyadas en análisis económicos a nivel de colectividad, sin que sus conclusiones deban ser de definitivas ni únicas, ya que habrá que considerar otros elementos que por su naturaleza no sea posible expresarlos en términos monetarios, como las implicaciones de índole política y social, y la medida en que las acciones permiten el logro de los objetivos y metas nacionales y sectoriales.

INFLUENCIA DEL FACTOR TIEMPO

La esencia de las inversiones obliga a hacer comparaciones entre situaciones que ocurren en momentos diferentes, por lo que es necesario hacer intervenir procedimientos que permitan hacer confrontaciones a partir de flujos de gastos y beneficios durante el horizonte económico de los proyectos. Un método frecuentemente usado es el de la actualización, o sea el empleo de una tasa (i) que por definición implica que la posesión de una unidad monetaria en el año ($n-1$) sea igual a $(1+i)$ unidades en el año (n). De ahí que la disponibilidad de una unidad monetaria en el año (n) sea equivalente a $1/(1+i)^n$ en el momento presente.

La aplicación del criterio anterior presenta dos dificultades: una de índole práctica, consistente en aplicar frecuentemente, salvo casos especiales, una tasa de actualización única; y otra de carácter teórico, que es el empleo de intervalos de un -

año para efectos comparativos, en lugar de lapsos más pequeños - que conducirían a una tasa de actualización continua.

Intimamente ligado con el problema de la determinación de la tasa de actualización se encuentra el del establecimiento del período de análisis del proyecto. En los transportes, y especialmente en la infraestructura, la vida útil es frecuentemente muy larga, tanto que teóricamente se podría aceptar que con una conservación adecuada la duración física de la misma podría ser indefinida. Sin embargo, para fines de análisis de inversiones ferroviarias, no conviene llevar los estudios más allá de 25 ó 30 años, ya que, por el efecto de la actualización, tanto los costos como los beneficios que ocurren en un año muy lejano ejercen poca influencia en el valor presente; asimismo, hay que tener en cuenta la dificultad de hacer previsiones a tan largo plazo.

Otra dificultad radica en la selección de la tasa de actualización que interpreta la productividad que se está exigiendo por el uso del capital. Cuando en un sistema económico el capital es escaso, su valor debe ser alto, pues el costo de oportunidad del recurso tiende a elevarse como resultado de una demanda insatisfecha y por la existencia de empleos alternativos más redituables en el propio sector ferroviario o en otros de la economía.

CRITERIOS ECONÓMICOS DE RENTABILIDAD

El objeto primordial de la evaluación económica de los proyectos es medir los costos y los beneficios asociados a su realización, para probar su factibilidad y hacer posible su comparación con otras alternativas, tanto del propio sector ferroviario, como con iniciativas de otros sectores de la economía donde también existen problemas y necesidades que atender.

Esa idea parece clara pero requiere sin embargo de algunas precisiones. Primeramente, habrá que seleccionar el criterio de evaluación más indicado para cada caso y, posteriormente, fijar las consideraciones necesarias para verificar su coherencia con los planes y objetivos nacionales, las repercusiones indirectas y los beneficios sociales, cuya cuantificación monetaria es difícil y discutible.

Una vez que los costos y los beneficios hayan sido medidos, los resultados de la evaluación pueden ser presentados en términos del beneficio neto actualizado, el coeficiente beneficio -- costo o la tasa anual de retorno y aunque existe mucho escrito sobre el particular, no hay desafortunadamente uniformidad de criterios en lo que concierne a su aplicación.

Entre diferentes alternativas de una inversión será -- necesario seleccionar aquella que reporte el máximo beneficio -- neto actualizado, que es el resultado de deducir los costos de los beneficios, en valor presente, y en base al costo de oportunidad -- del capital, la cual será aceptada en principio si dicho valor es po -- sitivo. Sin embargo, habrá que tomar en cuenta que los recursos financieros no son ilimitados y el hecho de que otras iniciativas -- alternas pueden tornarse con el tiempo más rentables, al favore -- cerse por cambios en las circunstancias o por la evolución en los niveles de tráfico. El beneficio neto actualizado puede expresarse de la siguiente manera:

$$B = \sum_{i=0}^n \frac{(B_i - I_i)}{(1+a)^i}$$

- B = Beneficio neto actualizado
- n = Número de años del horizonte económico
- B_i = Beneficio en el año (i)
- I_i = Inversión en el año (i)
- a = Tasa de actualización

El coeficiente beneficio - costo se ha utilizado en evaluación de inversiones de transporte ferroviario en formas diversas: ya sea calculando el cociente entre los beneficios y los costos actualizados,

$$C_{B/C} = \frac{\sum_{i=0}^n B_i (1+a)^{-i}}{\sum_{i=0}^n I_i (1+a)^{-i}}$$

- $C_{B/C}$ = Coeficiente de beneficio - costo
 B_i = Beneficio en el año (i)
 I_i = Inversión en el año (i)
 a = Tasa de actualización
 n = Número de años del horizonte económico

o bien calculando la relación entre los beneficios y los costos en un año determinado, (B_i/I_i), lo cual además de la dificultad de fijar el año, tiene el inconveniente de no considerar la evolución en el tiempo, tanto de las ventajas como de las erogaciones.

Cuando el coeficiente beneficio - costo sea mayor que la unidad, para una tasa de actualización dada, el proyecto en principio podrá llevarse a cabo. Sin embargo su aplicación puede tender a favorecer a inversiones pequeñas que no son las que conducen al beneficio neto actualizado máximo, lo cual puede ser válido por la limitación en los recursos financieros.

El inconveniente más importante de la aplicación del coeficiente beneficio - costo y el beneficio neto actualizado, estriba en la necesidad de seleccionar una tasa de interés que refleje el costo de oportunidad del capital, el cual es frecuentemente desconocido y difícil de estimar sin correr el riesgo de incurrir en fuertes errores.

Ese inconveniente puede atenuarse en cierta medida, utilizando una noción más accesible, que consiste en evaluar los proyectos en términos de la tasa anual de retorno de las inversiones, o sea, por definición, la tasa que hace iguales los valores presentes de los flujos de costos y beneficios asociados a una iniciativa, es decir:

$$\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=0}^n \frac{I_i}{(1+r)^i}$$

- B_i = Beneficio en el año (i)
 I_i = Inversión en el año (i)
 n = Número de años del horizonte económico
 r = Tasa anual de retorno

Existe teóricamente un inconveniente de utilizar la tasa anual de retorno que es el de proporcionar respuestas ambiguas en el sentido de que varias tasas pueden ser capaces de igualar los -- beneficios y los costos actualizados de un proyecto, pero esto se -- presenta pocas veces en los proyectos de transporte ferroviario, -- en los que los gastos más fuertes se concentran en los primeros -- años y los beneficios se manifiestan más tarde.

CALCULO DE LOS COSTOS

En la mayor parte de los casos, y en contraste con lo que sucede con los beneficios, existe generalmente suficiente experiencia para calcular los costos de inversión, mantenimiento y -- explotación en los que se incurre cuando se lleva a cabo un proyec-- to, los cuales dependen fundamentalmente de los estudios de dise-- ño, las especificaciones seleccionadas y del conocimiento de los -- precios y los factores que influyen en su variación.

En el caso del sector ferroviario se pueden distinguir dos tipos de inversiones: Las obras para el mejoramiento y -- ampliación de la infraestructura y la adquisición de equipos y ma-- quinaria de toda índole para el servicio de transporte y las labo-- res de mantenimiento, que en su conjunto incrementan el activo -- fijo de las empresas.

En ambos casos habrá que considerar no solamente la adquisición de equipos, materiales y mano de obra, sino también cierta cantidad de imprevistos y gastos indirectos subordinados a los proyectos, así como la necesidad de llevar a cabo acciones -- complementarias sin las cuales no es posible el funcionamiento -- de los proyectos.

En el cálculo de los costos de mantenimiento y explotación habrá que hacer previsiones a lo largo del horizonte econó-- mico de los proyectos y tener en cuenta las variaciones proba -- bles en los precios y en la productividad de los factores, así co-- mo las eventuales inversiones en reconstrucciones y reparacio-- nes que tengan que realizarse durante el lapso de análisis.

En los países en vías de desarrollo en los que no se -- producen gran parte de los equipos ferroviarios, en la evaluación

de los costos y para efectos de financiamiento y de medida del -- impacto de las inversiones en la balanza de pagos, habrá que considerar la componente extranjera de las mismas, ya sea directa -- cuando se trate de importaciones, o indirecta, en la proporción -- en que se utilicen insumos de procedencia extranjera en la producción de los bienes de origen nacional.

CALCULO DE LOS BENEFICIOS ECONOMICOS

La medida de los beneficios económicos que resultan de los proyectos es ordinariamente más difícil que la estimación de los costos. Existen ciertos efectos directos de las inversiones que aunque se identifican perfectamente, no son cuantificables monetariamente; hay muchas ventajas de orden económico que exigen provisiones a largo plazo que son difíciles de establecer; y -- un gran número de efectos indirectos necesitan de otras inversiones, en otros sectores distintos del ferroviario, para llegar a materializarse.

Las ventajas más considerables que pueden resultar de los proyectos de inversiones ferroviarias son: el abatimiento de los gastos de explotación, la reducción en los costos de mantenimiento, la disminución del número de accidentes y daños a las mercancías, las economías en tiempo a los pasajeros y carga, el mejoramiento en la comodidad y regularidad en el servicio, y el estímulo a la actividad económica, entre otras.

Los beneficios que son más fáciles de cuantificar son los que se desprenden de las inversiones en ampliación y modernización de las instalaciones y adquisición de equipos, los que se traducen en ahorros en costos de explotación y mantenimiento de los medios existentes, incidiendo en forma inmediata en el mejoramiento de empresas ferroviarias, pero a la larga transmiten -- sus efectos a otros grupos económicos.

Entre las inversiones que producen ahorros en costos de operación y gastos de mantenimiento destacan la rehabilitación de las vías, la construcción de nuevas líneas y acortamientos, las relocalizaciones para mejorar alineamiento vertical y horizontal, la adquisición de maquinaria de vía y de talleres, y las obras de electrificación, entre otras.

Las economías en tiempo son un elemento de gran importancia en el análisis de la mayor parte de los proyectos de inversiones ferroviarias. Sin embargo, su evaluación es frecuentemente difícil, por lo que es conveniente separar el transporte de pasajeros del de mercancías.

En el transporte de carga los elementos principales a retener y que proporcionan la mayor parte de los beneficios, son los ahorros en fuerza tractiva y equipo de arrastre que permiten una reducción en el capital destinado a ese fin, las economías en tiempo del personal dedicado al transporte y la menor inmovilización de las mercancías.

La dificultad de cuantificar monetariamente los ahorros en tiempo de los pasajeros es aún más grande, en razón de las diferentes categorías de usuarios. Sin embargo, en las condiciones actuales de nuestro país, en la que existen fuertes problemas de desempleo y subempleo, y en la que la mayor parte de los usuarios usan el servicio de segunda clase por su bajo precio, no debe considerarse significativo el valor del tiempo, ya que no se considera factible que el tiempo ganado sea utilizado en una tarea productiva, ni que exista un aumento importante en el tráfico disminuyendo la duración de los recorridos.

En cambio en el futuro próximo, en el que se esperan transformaciones radicales en el transporte masivo de pasajeros por vía férrea, fundamentalmente en el tráfico interurbano a medianas distancias y el servicio suburbano a altas velocidades y frecuencias, el valor del tiempo puede llegar a tener valores que incluso por sí sólo justificará las grandes inversiones que serán necesarias.

Ciertos proyectos tienen por objeto fundamental el aumento de la seguridad, tales como las señales, los pasos a desnivel, las telecomunicaciones, etc. La evaluación de las pérdidas materiales que se evitan al disminuir el número y la importancia de los accidentes no ofrece dificultades conceptuales serias. En cambio, la cuantificación económica de los daños sufridos por las personas ha encontrado frecuentemente oposición y ha sido objeto de grandes controversias. Sin entrar en grandes detalles, señalemos únicamente la necesidad de adoptar métodos de análisis que auxilien en la toma de decisiones orientadas a dismi-

nuir las pérdidas humanas que tanto preocupan a las administraciones ferroviarias.

En la mayor parte de los países, la construcción de -- nuevas líneas ferroviarias que constituyen una extensión a las redes existentes no es motivo de especial preocupación, en razón de que ya han alcanzado un grado de evolución aceptable y prestan niveles de servicio bastante adecuados. Sin embargo, subsisten -- algunos proyectos para completar los sistemas, sobre todo hacia aquellos sitios donde, para la explotación de los recursos disponibles, el transporte ferroviario es una condición indispensable.

Para la evaluación económica de los proyectos de nuevas líneas ferroviarias se toma como base el estímulo a la actividad económica y la medida en que las obras contribuyen al logro de objetivos en materia de distribución geográfica del desenvolvimiento, y de apoyo a las políticas de descentralización demográfica y de desarrollo regional.

La expresión económica de los beneficios en esos casos la constituye el incremento en el producto bruto nacional atribuible a los nuevos proyectos. Sin embargo, lo anterior presenta la dificultad de estimar que parte de ese valor agregado a la -- economía corresponde realmente a las obras ferroviarias y cuál a las acciones paralelas en otros sectores económicos, por lo -- que en estos casos se sugiere tratar las iniciativas como paquetes integrales de desarrollo regional, cuya justificación y prioridades debe presentarse globalmente, dando seguridad y coherencia a los planteamientos financieros.

Pocas dificultades se tienen que sortear para calcular los beneficios atribuibles a la adquisición de fuerza motriz y -- equipo de arrastre para hacer frente al crecimiento de la demanda y para sustituir equipo obsoleto o en mal estado físico. En -- el primer caso, se estima el flete que se diferiría a otros modos de transporte por la incapacidad de absorberlo por falta de equipo suficiente, siendo la diferencia en costos de operación la -- expresión monetaria de los beneficios; y en el segundo, el incremento en gastos de mantenimiento en que se incurriría al tratar de sostener las unidades en servicio habiendo llegado ya al final de su vida útil.

SELECCION DE ALTERNATIVAS Y AÑO OPTIMO

Entre varias alternativas de un proyecto, ya sea por su dimensión o por la solución técnica adoptada, se seleccionará aquella que produzca el más grande beneficio social neto actualizado, incluyendo la posibilidad que implica una inversión nula, o sea el mantener la situación existente, solución válida como cualquier otra, y para la que es posible estimar el flujo de beneficios y costos en un lapso dado.

El problema de la selección del año óptimo de la realización de un proyecto no varía en esencia con el del análisis de selección de alternativas. En efecto un proyecto realizado en los años 1, 2, . . . , j, . . . , no obstante que teóricamente corresponde a una sola variante, puede económicamente considerarse como diversas alternativas, ya que por regla general habrá beneficios netos actualizados $B_1, B_2, \dots, B_j, \dots$, diferentes según el año de su puesta en servicio.

Si se supone una inversión (I) para el cual los beneficios (b_n) dependen solamente del año en cuestión y no del de su puesta en servicio y la vida del proyecto se considera de (N) años, el beneficio neto actualizado (B_j) correspondiente a la puesta en operación en el año (j), es equivalente a:

$$B_j = \sum_{n=j}^{N+j-1} \frac{b_n}{(1+i)^n} - \frac{I}{(1+i)^{j-1}}$$

y análogamente

$$B_{j+1} = \sum_{n=j+1}^{N+j} \frac{b_n}{(1+i)^n} - \frac{I}{(1+i)^j}$$

consecuentemente

$$B_j - B_{j+1} = \frac{1}{(1+i)^j} \left[b_j - \frac{b_{N+j}}{(1+i)^N} - i \right]$$

Dicha diferencia será más grande, igual o menor que -
cero dependiendo si

$$b_j \leq i + \frac{b_{N+j}}{(1+i)^N}$$

y la conveniencia de realizar el proyecto en el año (j) o diferido --
hasta el año (j + 1) dependerá del signo de esta desigualdad. Si --
depreciamos el término

$$\frac{b_{N+j}}{(1+i)^N}$$

por ser demasiado pequeño, cuando (N) es grande y la tasa de --
actualización (i) elevada, la expresión es más simple

$$b_j \leq i$$

o sea, que conviene retardar la puesta en servicio del proyecto --
del año (j) al año (j + 1), si los beneficios perdidos (b_j) son más --
pequeños que la ventaja de posponer la inversión un año, tomando
en cuenta el efecto de la actualización. La fecha óptima (j) de --
realización del proyecto será aquella en la que se cumpla que

$$b_j \geq i > b_{j-1}$$

en la que toda anticipación o posposición en la ejecución de la --
inversión entraña una pérdida para la colectividad.

Esas consideraciones permiten decidir sobre la inclu-
sión o no de un proyecto en el programa de inversiones de un año-

(j) calculando el coeficiente de rentabilidad inmediata (b_j/I), y verificando que sea mayor que la tasa de actualización.

EFEECTO DE RED

Muchas de las inversiones en vías férreas, sobre todo en infraestructura, están interrelacionadas unas con otras, de tal suerte que las consecuencias de un proyecto considerado aisladamente, no son iguales a las que se obtendrían si se le analiza como parte de un sistema o red, en cuyo caso se trata de buscar un programa de efecto óptimo.

En general, dos proyectos A y B considerados uno con relación al otro, son independientes si la realización de uno de ellos no modifica el beneficio neto actualizado del otro, y son interdependientes en el caso contrario. En este último caso A es complementario de B, si su realización aumenta el beneficio neto actualizado de este último y sustituto si conduce a una disminución de dicho valor.

Si se consideran (n) proyectos interdependientes A_1, A_2, \dots, A_n , se pueden formar $2^n - 1$ proyectos diferentes combinándolos entre sí de todas las maneras posibles, siendo factible asignar a cada uno de ellos un beneficio neto actualizado, y el más atractivo será al que corresponda el valor máximo. Sin embargo, cuando el número de iniciativas es elevado, el método descrito es difícil de aplicar, por lo que habrá que buscar una simplificación o auxiliarse de una computadora.

PROGRAMACION

La existencia de limitaciones presupuestarias obliga a posponer la realización de proyectos que actualmente son atractivos desde el punto de vista económico, por lo que es conveniente utilizar métodos de análisis que tomen en cuenta la disponibilidad financiera y la evolución de los beneficios de los proyectos atendiendo a la fecha de su puesta en funcionamiento.

Se denominamos I_{jk} la inversión necesaria para el proyecto (A_j), afectando recursos financieros (I_h) disponibles du-

rante el año (h), suponiendo que los trabajos fueron iniciados en el año (k), y designamos por (B_{jk}) el beneficio neto actualizado asociado al proyecto, el problema será encontrar las variables (a_{jk}) que tomarán valores iguales a la unidad, si el proyecto incluido, y a cero, si es excluido de la solución óptima, que conducen al beneficio neto actualizado máximo (B), considerando los (n) proyectos que se analiza. La función objetivo será entonces:

$$\text{Max } B = \sum_k \sum_{j=1}^n a_{jk} B_{jk}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

1)

$$\sum_k \sum_{j=1}^n a_{jk} \leq I_h \text{ para toda } h$$

Con el propósito de que la inversión asignada al conjunto de proyectos en el año (h) no sea superior a la disponibilidad presupuestal (I_h).

2) $0 \leq a_{jk} \leq 1$ y a_{jk} entero

Es decir que las variables a_{jk} tomarán valores enteros e iguales a la unidad o a cero.

3) $\sum_k a_{jk} \leq 1$

Lo que significa, que un proyecto (A_j) puede ser iniciado solamente en un año (k) o en ninguno, pero no en varios.

Los índices k y h variarán desde uno hasta el número de años incluidos en el programa o ejercicios presupuestales que se consideran.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

A lo largo del trabajo hemos hecho referencia a la - - incertidumbre en el conocimiento de algunos datos básicos para - los estudios económicos que servirán en la toma de decisiones de inversión. En los costos de inversión las diferencias entre las - estimaciones y la realidad suelen ser de consideración y las pre- visiones a diferentes plazos que involucra el cálculo de los benefi- cios son discutibles y difíciles de sostener.

Una aproximación posible es el suponer que los valo- res estimados no son valores particulares de las variables aleato- rias correspondientes e intentar determinar las funciones de dis- tribución de probabilidad de la ocurrencia de esas variables, lo - que permite el cálculo de intervalos de confianza para las estima- ciones realizadas. Sin embargo, sin rechazar la utilidad de un - procedimiento como el descrito, su aplicación en las condiciones- actuales es demasiado difícil, a causa del poco conocimiento que- podemos tener de las variables. Una simplificación más realista es efectuar los cálculos con las estimaciones que se consideran - más probables y además dos posiciones extremas: una optimis- ta y otra pesimista.

Antes de pasar a los aspectos financieros del secto ;,- en el que se describirán someramente algunos de los principales- problemas que afectan a los ferrocarriles en México, nos referi- remos rápidamente a algunas de las características que deben con- tener los programas de inversiones en el área y los errores que- deben de evitarse.

TAMAÑO DE LOS PROYECTOS

Las importantes inversiones que tienen que realizarse en nuevas obras, aumento de capacidad instalada, modernización- y reconstrucción de los medios existentes, y en adquisición de - - equipos de toda índole, para hacer frente a los requerimientos de

transporte, obligan, para no incurrir en erogaciones excesivas o prematuras, a diseñar las iniciativas de acuerdo al tamaño justo de la demanda presente y del futuro previsible, sin utilizar técnicas y procedimientos que han sido concebidos para otras condiciones y que para las nuestras resultan dispendiosas, y significan la inmovilización de importantes recursos que se usan con muy bajo rendimiento y productividad, siendo recomendable recurrir a modalidades que se adapten periódicamente a la evolución de las necesidades, que tener capacidad en demasía.

ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS

Las experiencias extranjeras si bien en un gran número de casos son de gran utilidad, hay que evitar su implantación -- indiscriminada, porque no todas son adecuadas a nuestros sistemas, teniendo en cuenta nuestra realidad económica, social y de organización y a la naturaleza y magnitud de nuestros recursos, -- principalmente los humanos. Es por eso que antes de adoptar una innovación habrá que llevar a cabo estudios detallados que nos permitan tomar las decisiones más convenientes.

Particularmente hay que tener en cuenta que el sector transportes está caracterizado por el empleo de gran cantidad de mano de obra; y por otra parte los fuertes problemas de desempleo y subempleo que subsisten en los países en vías de desarrollo, por lo que hay que dar alta prioridad a las técnicas de uso intensivo de mano de obra en los diferentes trabajos y limitar el uso del equipo y la maquinaria a aquellos procesos en los que el tiempo es un factor primordial o la naturaleza de los mismos o su costo social justifique su utilización. No hay que engañarnos con eventuales ahorros en fuerza de trabajo que en algunos casos son discutibles y fuera de nuestra realidad.

DISPERSION DE ESFUERZOS

Otro error que hay que evitar en materia de planeación y programación de inversiones en obras y equipos ferroviarios, -- es la dispersión excesiva de los esfuerzos, iniciando o teniendo al mismo tiempo demasiados proyectos en ejecución, que no tengamos la seguridad de concluir o implementar en lapsos razonables.

Es por eso que en las políticas de inversiones debe darse especial prioridad a la terminación de los proyectos en proceso, a efecto de no prolongar excesivamente los períodos de realización y de -- obtener de ellos los efectos benéficos a la mayor brevedad posible, sin incurrir en inmovilización de recursos de capital que se tornan improductivos por largos períodos.

PLAZOS DE LOS PROGRAMAS

Muchos son los factores que explican la duración de -- los planes. Algunas empresas ferroviarias tienen imperativos -- internos de orden político y administrativo que obligan a la selección de los plazos de los planes.

CORTO PLAZO

Los planes y programas a corto plazo tienen la desventaja de que no pueden contribuir al cambio de estructuras más que en una pequeña medida, ya que no proporcionan tiempo suficiente para estudiar soluciones o movilizar recursos y de hecho no constituyen instrumentos eficaces para modificaciones fundamentales. -- Un programa demasiado corto no deja tiempo necesario para elaborar y poner en servicio proyectos de gran magnitud y frecuentemente en ese plazo no hay otra alternativa que continuar y concluir las acciones en proceso y atacar problemas que son tan graves y evidentes que no podemos diferir su solución, sin correr el riesgo de causar graves daños a la economía.

MEDIANO Y LARGO PLAZO

En esas circunstancias la mayor parte de las empresas ferroviarias han tenido que optar por planes a más largo plazo. En la práctica es deseable asignarles una duración lo suficientemente breve para permitir proyecciones y estimaciones de tráfico razonablemente precisas, pero un tanto largas para permitir la -- gestación de un suficiente número de proyectos clave.

Los programas demasiado largos en general y particularmente en materia de vías férreas pierden su claridad y utilidad

en lo que se refiere al logro de las metas para los años más lejanos, en los que en gran medida se depende de elementos imprevisibles, sobre todo en este sector en el que se esperan grandes transformaciones, y de los resultados de los primeros años.

Sin embargo, lo que es más importante retener es el hecho de que debemos preocuparnos por el mediano y el largo plazo. El futuro es incierto y hay decisiones que tenemos que preparar, las cuales afectarán seriamente el provenir de los ferrocarriles y que si bien podemos tomarlas hoy libremente, por su naturaleza y carácter irreversible, no podremos tomarlas mañana, sin vernos sujetos a restricciones y limitaciones que nos lo impedirán o harán más difíciles y costosas soluciones.

CONTINUIDAD

Los programas de inversiones independientemente de su plazo, deben estar formulados de tal suerte de asegurar los objetivos a largo plazo, y la planeación debe ser un proceso continuo en el que las coyunturas políticas o administrativas deberán tratar de operarse insensiblemente. El problema del encadenamiento no es fácil y las transiciones algunas veces se presentan de manera ineficaz, tanto por la falta de proyectos, como por el hecho de que su terminación se concentra muchas veces durante los últimos años del plan, dando como resultado una nociva baja de actividad cuando entra en vigor uno nuevo.

FINANCIAMIENTO

El notable crecimiento que ha experimentado el sistema ferroviario en su conjunto en México, es debido, en gran medida, a la importante canalización de recursos financieros que se han destinado por parte del Sector Público a este rubro del transporte; y eso ha sido posible mediante la ampliación y diversificación de las fuentes financieras, lo cual no bastaría, dadas nuestras condiciones, si paralelamente no se hace un vigoroso esfuerzo para su aplicación más racional.

La insuficiencia de los ingresos de los ferrocarriles los imposibilitan para hacer por sí mismos frente a sus requerimientos de inversión, y el Gobierno se ve obligado a contribuir--

con recursos que provienen de la recaudación general o que capta del ahorro interno para ampliar y consolidar los medios con que cuentan las Empresas para la prestación de los servicios de transporte masivo que asegura la vía férrea.

Pero la capacidad de esas fuentes internas no resultan suficientes para resolver los problemas de todo tipo que tiene la Nación y la necesidad de adquirir equipos y maquinaria que no se fabrica en el país, por lo que se precisa, como ha sido hasta el momento, del concurso de fuentes externas, planteando problemas de muy diversa índole, que se refieren tanto a la procedencia de los fondos, como a la regularidad y flexibilidad en su uso.

Entre las fuentes externas podemos distinguir dos clases: La primera, que es la constituida por créditos de proveedores que generalmente se canaliza a través de la banca privada que promueve las exportaciones de los países industrializados; y la segunda, la que proviene de fondos de Instituciones Internacionales de Fomento del Desarrollo de los países miembros de las mismas.

Los créditos directos tienen la ventaja de su mayor accesibilidad y menores requerimientos para su obtención. Sin embargo, las tasas de interés son altas y los períodos de gracia y plazos de amortización reducidos, lo cual origina problemas de capacidad de endeudamiento y de limitación en la disponibilidad de recursos a corto plazo para hacer frente a los compromisos de pasivo.

En cambio las Instituciones Internacionales de Fomento del Desarrollo, generalmente prestan a más bajos intereses y mayores plazos de amortización y frecuentemente son más exigentes en cuanto a los estudios justificativos de las inversiones en cuyo financiamiento participan, lo cual ha incidido favorablemente en la creación de conciencia de la necesidad y utilidad de la planeación y en la implantación de técnicas de evaluación y programación de las inversiones, en los países que se benefician con los préstamos mencionados.

Entre los problemas que resultan del empleo de estos últimos recursos externos, es necesario mencionar que los organismos citados basan sus acciones en estudios de selección que, de acuerdo a las técnicas de evaluación, prueban la bondad de los

proyectos y permiten su jerarquización en base al monto de los -- recursos disponibles. El hecho es que esas técnicas han sido con -- cebidas y desarrolladas en países que han logrado etapas de evolu -- ción muy superiores a las que nos caracterizan y, en ocasiones, -- se apoyan en planteamientos que son ajenos a nuestra realidad y -- en información que en la mayor parte de las veces no se tiene dis -- ponible.

Eso puede provocar que los planes y programas finan -- ciados con créditos de esas Instituciones se relacionen con inver -- siones en mejoramientos y modernizaciones, que si bien garanti -- zan la redituabilidad de los fondos que se manejan, pueden distor -- cionar el logro de determinados objetivos, por implicar gastos -- que aún siendo convenientes, no son los que más contribuyen a -- los efectos que dentro de nuestra evolución general tanto hemos -- insistido, corriéndose el riesgo de comprometerse en ciertos pro -- yectos, más por la oportunidad de los recursos que por la eminen -- te urgencia de los mismos.

Conviene resaltar que el financiamiento de los Bancos corresponde solo a una parte del costo de los proyectos y que el -- monto de su participación varía, dependiendo de la naturaleza de -- las iniciativas y del país de que se trata. En la mayoría de los -- casos, el monto de los préstamos corresponde a la magnitud que -- se derive del contenido importado o componente extranjero de los -- proyectos.

Lo anterior favorece el uso de técnicas que emplean -- mayoritariamente equipo, lo cual es contradictorio con las políti -- cas de empleo que se inclinan por el uso intensivo de mano de -- obra y sobre todo en las empresas ferroviarias en las que por la -- abundancia de los recursos humanos, es necesario buscar en for -- ma permanente procedimientos que permitan su máxima utiliza -- ción y productividad.

Un problema más, en el uso de los fondos provenien -- tes de las fuentes ya mencionadas, es el hecho de que al obligar -- a una licitación internacional para la adquisición de equipos de -- todo tipo, en algunos casos conduce a una inconveniente diversifi -- cación de técnicas que desarticulan los sistemas y crean serios -- problemas de operación y mantenimiento, y dificultades de obten -- ción de refacciones de todos tipos y procedencias. En México ha

obligado esa circunstancia a que en muchos rubros de inversión se haya optado por prescindir de los servicios de esas Instituciones y recurrido a otros créditos con menores ventajas, tanto en cuanto a plazo como a intereses.

Otro aspecto que no debemos pasar por alto su señalamiento, es el de algunas exigencias de las Instituciones de Fomento que son impuestas como condicionantes al otorgamiento de los créditos, y aceptando que siempre benefician a los países prestarios y son medidas que quizá de otra manera nunca se implantarían, en muchas ocasiones se relacionan con decisiones que corresponden única y exclusivamente a éstos últimos sin ingerencias ni presiones externas de ningún tipo.

Sin embargo cabe reconocer que las Instituciones de Crédito están conscientes de estos y muchos otros problemas y hacen esfuerzos, dentro de las normas que los rigen, para superarlos. Los procedimientos para preparación, identificación y evaluación de los programas se revisan permanentemente; los tiempos de gestión se han logrado reducir; se ha dado flexibilidad al manejo de recursos; se han buscado fórmulas para proteger a las industrias nacionales; se ha comenzado a dar prioridad a los objetivos sociales y se han dado facilidades para la realización de estudios de preinversión y para proyectos de ingeniería.

Dados los inconvenientes y problemas que significa el uso de fuentes de crédito externas, es necesario que las empresas ferroviarias se preocupen por fortalecer sus finanzas y por utilizar al máximo los equipos y materiales de fabricación nacional, impulsando la industria conexas con el sector.

Es difícil en el corto plazo y dado el estado actual de las cosas, el alcanzar un equilibrio entre los gastos y los ingresos del ferrocarril, y mucho menos la posibilidad de generar excedentes que puedan servir para el financiamiento de las inversiones, en razón de los altos costos y compromisos que tienen que afrontar y servicios públicos que sostener.

Sin embargo, para disminuir el desequilibrio financiero, es indispensable, como ya hemos mencionado, la toma de medidas y acciones en materia de aumento de la productividad y eficiencia en la operación, que conduzcan a menores requerimientos

de inversión y consecuentemente a menores compromisos de crédito y endeudamiento externo.

Es también de vital importancia la disminución de costos y la revisión frecuente de tarifas que ajustándose a la realidad del mercado de los transportes, reduzcan el monto de la carga -- que actualmente los ferrocarriles representan para el Estado, y -- permitan tender a la autosuficiencia.

Además de las medidas citadas, y en el dominio comercial, es necesario mejorar la calidad y diversificación de los servicios. Sin embargo en México, poco puede decirse del servicio de carga, cuya demanda está perfectamente definida y se presta un servicio que, aunque es susceptible de superación, puede -- asegurarse que satisface en buena medida las exigencias de los -- usuarios, pero deben continuarse los esfuerzos dirigidos a la -- implantación de mayor número de trenes unitarios y directos, -- aumentar la velocidad comercial y propiciar el desarrollo del tráfico de remolques sobre plataformas, el transporte de contenedores y el uso de vagones especiales que den más flexibilidad a los usuarios.

En cambio el transporte de pasajeros debe reestructurarse definitivamente, mejorando y transformando radicalmente los servicios masivos entre ciudades cuyo tráfico generado así lo justifique y el transporte suburbano de personas, para lo cual -- será necesario aumentar la velocidad y frecuencia de las corridas, realizar cuantiosas inversiones y lo que es más importante, el -- asegurar el cumplimiento de los horarios, para restituir la confianza de los usuarios.

Para concluir, podemos afirmar que muchas de nuestras preocupaciones en materia de planeación, programación, -- evaluación de proyectos y financiamiento de las inversiones en -- vías férreas, se tienen en otros países en vías de desarrollo y -- que es necesario unir esfuerzos y establecer una -- estrecha coordinación y colaboración entre los mismos para hacer el mejor uso de nuestros recursos y contribuir en la mayor medida en los procesos de transformación económica y social -- que caracteriza a nuestros pueblos.

CONCLUSIONES

Los ferrocarriles han contribuido en México, y en la mayor parte de los países, a impulsar su desarrollo en todos sentidos y es de esperarse que el papel que jueguen en el futuro será de mucha mayor significación.

El crecimiento económica y las transformaciones sociales que se presentarán en los próximos años, el congestionamiento de la circulación en las redes viales urbanas e interurbanas, la crisis de energéticos y materias primas, requieren de nuevas categorías y modalidades de transporte ferroviario, que permitan invertir las tendencias actuales, ofreciendo medios alternativos para los usuarios, concebidos a una nueva escala social, geográfica y económica, y no de proporcionamiento indiscriminado de todo tipo de servicios, sino caracterizarse por absorber la demanda que conduzca a una complementación de funciones entre los distintos modos de transporte y que en su conjunto signifique un costo mínimo para la colectividad.

Es necesario contemplar las consecuencias que significa el desarrollo progresivo de las tendencias actuales. De no tomarse medidas enérgicas de reestructuración radical de los servicios, se causarán graves daños a diferentes sectores de la economía, que son difíciles de predecir.

Sin embargo, todo lo anterior significa una transformación profunda de mentalidades, de hábitos y de métodos, que sabemos exige voluntad y decisión; así como de esfuerzos permanentes encaminados al aumento de la productividad y eficiencia en todos sentidos, a la disminución de costos, reformas a la administración y de políticas vigorosas de comercialización; y lo que es muy importante, de la canalización de cuantiosos recursos de inversión, al mantenimiento, ampliación, mejoramiento y consolidación de las instalaciones y equipos disponibles.

En esas circunstancias, es necesario y urgente el impulsar la planeación y programación oportuna de esas actividades y buscar las fuentes más convenientes de su financiamiento, teniendo en cuenta los objetivos específicos para el sector y la necesaria compatibilidad con las políticas y objetivos nacionales.

Son muchos y urgentes los problemas que actualmente viven los ferrocarriles, pero no todos son tan graves ni tan urgentes, y dada la limitación de recursos, es necesario definir prioridades en su ejecución, para lo cual resultan de gran utilidad las técnicas específicas de análisis y evaluación de proyectos, las que no obstante que en algunos casos constituyen ventajosas herramientas, otras veces su aplicación entraña la irracional utilización de los recursos internos o externos del sector, si no verifican la coherencia que aseguran con relación a los objetivos y metas buscadas.

En adición y sin tratar con ello de subestimar las metodologías tradicionales de análisis y jerarquización de proyectos, sino con la intención de llamar la atención sobre las limitaciones en su aplicación, habrá que señalar que en los métodos clásicos de evaluación, si bien se toman en cuenta los ahorros en costos de operación y mantenimiento, que generalmente son cifrables monetariamente, consideran frecuentemente ganancias en tiempo y seguridad que escapan algunas veces a toda estimación económica precisa, así como que dichos procedimientos difícilmente pueden incorporar muchos beneficios que dependen en gran medida de otras acciones paralelas y sobre todo de ventajas indirectas que en muchas ocasiones, con la información disponible no son claramente cuantificables.

También, no hay que olvidar la idea de servicio público, que no siempre es sinónimo de rentabilidad. Debe buscarse una conciliación entre los aspectos puramente económicos y financieros, y lo que es posible imponer a los usuarios, siendo el costo social el que debe predominar. Asimismo, es necesario tomar en cuenta lo valiosos que son los ferrocarriles como instrumento de política económica y social para el Estado.

Por otra parte, en la formulación de planes y programas de inversiones es indispensable tener implícita la idea de dar alta prioridad a los trabajos de mantenimiento y de continuar y concluir los proyectos en proceso, a efecto de obtener los beneficios que de ellos se derivan a la brevedad posible; así como tener en cuenta plazos razonables y asegurar la continuidad de los esfuerzos, de acuerdo con nuestra realidad administrativa; y buscar el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, la aplicación de técnicas y procedimientos propios a nuestra econo-

mía y características sociales y a las limitaciones que nos impone nuestra propia organización.

La máxima racionalidad no solamente se deriva de las consideraciones citadas, sino también de la necesidad de buscar -- fuentes más ágiles y flexibles de financiamiento, con un mínimo de compromisos que limiten nuestra evolución futura, tratando de depender en menor medida del exterior y de tecnologías extrañas, y de fortalecer económicamente a las empresas, para gozar de las ventajas de la autosuficiencia.

Por último, los problemas, soluciones y perspectivas de muchos de los países Latinoamericanos son muy semejantes y debemos hacer esfuerzos para intercambiar experiencias y unidos encontrar los caminos a la superación del sector en cuyo mejoramiento todos estamos comprometidos.

EVALUACION DE LA INSTALACION DEL SISTEMA CTC DE
SEÑALES ENTRE ORIENTAL Y VERACRUZ

DATOS BASICOS

Trenes hora 1976 = 1'303, 223

Gasto de operación en transportes = \$ 2,169 millones

\$/Tren - hora = \$ 1,664/tren - hora

Costo variable $0.7 \times 1,664 = \$ 1,165$ /tren - hora

No. de trenes 19

Ahorro por supresión de demoras por órdenes
y encuentros

3.2 h/tren

Trenes - hora ahorrados año = $19 \times 3.2 \times 365 = 22,192$ trenes - hora

Ahorro anual = $22,192 \times 1,165 = 25'853,680$

Longitud tramo 252 km.

Costo de Inversión \$ 600,000/km. = \$ 151 millones

Crecimiento del tráfico 5% anual

INSTALACION CTC ENTRE ORIENTAL Y VERACRUZ

AÑO	Tráfico No. Trenes	Ahorro Anual \$ millones	Gastos de Operación y Mantenimiento \$ millones	Ahorro Neto Anual \$ millones	Factor Actualizado 18 %	Ahorro Neto Actualizado
1	19	25.8	3.2	22.6	1.00	22.6
2	20	27.2	3.2	24.0	0.85	20.4
3	21	28.6	3.2	25.4	0.72	18.3
4	22	29.9	3.2	26.7	0.61	16.3
5	23	31.3	3.2	28.1	0.52	14.6
6	24	32.7	3.2	29.5	0.44	13.0
7	25	34.0	3.2	30.8	0.37	11.4
8	27	36.8	3.2	33.6	0.31	10.4
9	28	38.1	3.2	34.9	0.27	9.4
10	29	39.5	3.2	36.3	0.23	8.5
11	31	42.2	3.2	39.0	0.19	7.4
12	32	43.5	3.2	40.3	0.16	6.4
13	34	46.3	3.2	43.1	0.14	6.0
14	36	49.0	3.2	45.8	0.12	5.5
15	38	51.7	3.2	48.5	0.10	5.3
16	39	53.1	3.2	49.9	0.08	4.0
17	41	55.8	3.2	52.6	0.07	3.7
18	44	59.9	3.2	56.7	0.06	3.4
19	46	62.6	3.2	59.4	0.05	3.0
20	48	65.3	3.2	62.1	0.04	2.5
						<u>191.9</u>

$$IR \frac{191.9}{151} = 1.27$$

NUEVA VIA FERREA CORONADO LAS TRUCHAS
DATOS BASICOS PARA EVALUACION

Costo por tonelada neta-kilómetro por vía férrea	\$ 0.35/TNK
Costo variable tonelada neta -kilómetro por vía férrea \$ 0.35 x 0.7	\$ 0.22/TNK
Costo por carretera	\$ 0.35/TNK
Diferencia en costo	\$ 0.13/TNK
Demanda inicial	
Productos siderúrgicos	1'000, 000 Ton.
Distancia	525 km.
Carbón 800 kg./ton.	800, 000 ton.
Distancia	1, 600 km.
Otros productos	200, 000 ton.
Distancia	525 km.
Demanda a partir de 1983	
Productos siderúrgicos	3'600, 000 ton.
Carbón	2'880, 000 ton.
Otros productos	500, 000 ton.
Costo de inversión/km.	7'000, 000/km.
Longitud	200 km.
Costo total	1, 400'000, 000

LINEA CORONDIRO - LAS TRUCHAS - TRAFICO GENERADO

AÑO	PRODUCTOS TERMINADOS DE LA SIDERURGICA		CARBON		OTROS	
	TON.	TON. - KM.	TON.	TON. - KM.	TON.	TON. - KM.
1977						
1978	1'000,000	525'000,000	800,000	1,280'000,000	200,000	105'000,000
1979	1'000,000	525'000,000	800,000	1,280'000,000	200,000	105'000,000
1980	1'000,000	525'000,000	800,000	1,280'000,000	200,000	105'000,000
1981	1'000,000	525'000,000	800,000	1,280'000,000	200,000	105'000,000
1982	1'000,000	525'000,000	800,000	1,280'000,000	200,000	105'000,000
1983	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1984	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1985	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1986	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1987	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1988	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1989	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1990	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1991	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1992	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1993	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1994	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1995	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1996	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000
1997	3'600,000	1,890'000,000	2'880,000	4,608'000,000	500,000	262'500,000

3 de septiembre de 1977.

NUEVA LINEA CORONDIRO - LAS TRUCHAS
EVALUACION ECONOMICA

AÑO	TRAFICO MILLONES TNK	BENEFICIO ANUAL \$ MILLONES	FACTOR DE ACTUALIZACION	BENEFICIO ANUAL ACTUALIZADO \$ MILLONES	COSTO DE INVERSION \$ MILLONES	COSTO DE INVERSION \$ MILLONES
1977	-		1.00	-	800	800
1978	1,910	-	0.85	-	600	510
1979	1,910	248.3	0.72	178.7		
1980	1,910	248.3	0.61	151.5		
1981	1,910	248.3	0.52	129.1		
1982	1,910	248.3	0.44	109.3		
1983	6,760	878.8	0.37	325.2		
1984	6,760	878.8	0.31	272.4		
1985	6,760	878.8	0.27	237.3		
1986	6,760	878.8	0.23	202.1		
1987	6,760	878.8	0.19	167.0		
1988	6,760	878.8	0.16	140.6		
1989	6,760	878.8	0.14	123.0		
1990	6,760	878.8	0.12	105.5		
1991	6,760	878.8	0.10	87.9		
1992	6,760	878.8	0.08	70.3		
1993	6,760	878.8	0.07	61.5		
1994	6,760	878.8	0.06	52.7		
1995	6,760	878.8	0.05	43.9		
1996	6,760	878.8	0.04	35.2		
				<u>2,493.2</u>		<u>1,310</u>

$$IR = \frac{2,493.2}{1,310} = 1.9$$

COMPACTADORA DE BALASTO

EVALUACION ECONOMICA

Inversión	\$ 1.7 millones
Rendimiento máquina	1,500 mts./día
Rendimiento mano de obra	20 mts./jornada-hombre

Maquinaria

Sueldo operador	\$ 4,500/mes
Ayudante operador	\$ 4,000/mes
2 abanderados	\$ 3,600/mes
4 peones	\$ 3,600/mes
Diesel 50 lts./día	\$ 0.65/lt.
Aceite 300 lts./año	\$ 18/h
Días trabajados	220 días al año

Mano de Obra

1 mayordomo	\$ 3,900/mes
6 reparadores	\$ 3,600/mes
Días trabajados al año	300 días

Maquinaria

Mano de Obra

$$4,500 + 4,000 + 7,200 + 14,400 = \$ 30,100/\text{mes}$$

$$30,100 \times 12 = \$ 361,200$$

Combustibles y lubricantes

$$50 (0.65) 220 = 7,150$$

$$300 \times 18 = \underline{5,400}$$

$$12,550$$

Reparaciones

$$\$ 170,000/\text{año}$$

Depreciación

$$\frac{1,700,000}{7} = \$ 243,000/\text{año}$$

Costo Total

$$361,200 + 12,550 + 170,000 + 243,000 = \$ 786,750/\text{año}$$

Producción

$$1,500 \text{ mts./día} \times 220 = 330,000 \text{ mts./año}$$

$$\$ 786,750/330,000 = \$ 2.38/\text{m.}$$

Mano de Obra

$$3,900 + 21,600 = 25,500$$

$$25,500 \times 12 = \$ 306,000/\text{año}$$

Producción

$$20 \text{ mts.} \times 6 \times 300 = 36,000 \text{ mts./año}$$

$$306,000 / 36,000 = \$ 8.5/\text{m}$$

Cuadrillas necesarias para hacer el trabajo de la maquinaria

$$\frac{330,000 \text{ mts.}}{36,000} = 9 \text{ cuadrillas}$$

Costo total con maquinaria \$ 786,760

Costo total con mano de obra
9 x 306,000 2'754,000

Ahorro \$ 1'967,240/año

$$\text{IR} = \frac{1'967,240}{1'700,000} = 1.15$$

EVALUACION DEL PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES POR MICROONDAS Y EL SISTEMA DE CONTROL DE OPERACIONES

DATOS BASICOS DE EVALUACION

Carga promedio / carro cargado	50 ton. / carro
Distancia media recorrida / día actual	74 km. / día
Tiempo cargado	60 %
Distancia media recorrida / día modificada	80 km. / día
Flota actual	34,567 carros

$$\text{No. de carros necesarios actuales} = \frac{\text{TNK}}{365 \times 50 \times 74 \times 0.6} =$$

$$= \frac{\text{TNK}}{810,300}$$

$$\text{No. de carros necesarios futuro} = \frac{\text{TNK}}{365 \times 50 \times 80 \times 0.6} =$$

$$= \frac{\text{TNK}}{876,000}$$

Costo de inversión por carro	\$ 700,000/unidad
Costo de inversión del proyecto de telecomunicaciones y control de operaciones	= 1'200 millones
Costo anual de operación y mantenimiento	= \$ 50 millones/año

PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES Y CONTROL DE OPERACIONES
CALCULO DEL AHORRO EN NECESIDADES DE CARROS

AÑO	TRAFICO MILLONES TNK	NECESIDADES DE CARROS SIN PROYECTO	NECESIDADES DE CARROS CON PROYECTO	ADQUISICIONES ANUALES SIN PROYECTO	ADQUISICIONES CON PROYECTO	DIFERENCIA ANUAL
1977	28,000	34,567	32,000			
1978	29,400	36,296	33,600	1,729	-	1,729
1979	30,870	38,111	35,280	1,815	713	1,102
1980	32,413	40,016	37,044	1,905	1,764	141
1981	34,034	42,017	38,896	2,001	1,852	149
1982	35,736	44,119	40,841	2,102	1,945	157
1983	37,523	46,325	42,882	2,206	2,041	165
1984	39,399	48,641	45,027	2,316	2,145	171
1985	41,369	51,074	47,279	2,433	2,252	181
1986	43,437	53,626	49,642	2,552	2,363	189

3 de septiembre de 1977.

TELECOMUNICACIONES POR MICROONDAS Y EL SISTEMA
DE CONTROL DE OPERACIONES

AÑO	DIFERENCIA ANUAL No. CARROS	BENEFICIO ANUAL \$ MILLONES	FACTOR DE ACTUALIZACION 18 %	BENEFICIO ANUAL ACTUALIZADO	INVERSION Y/O COSTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO \$ MILLONES	INVERSION ACTUALIZADA \$ MILLONES
1977	-	-	1.00		500	500
1978	1,729	1,210	0.85	1,029	700	595
1979	1,102	771	0.72	555	50	36
1980	141	99	0.61	60	50	31
1981	149	104	0.51	53	50	26
1982	157	110	0.44	48	50	22
1983	165	116	0.37	43	50	19
1984	171	120	0.31	37	50	16
1985	181	127	0.27	34	50	14
1986	189	132	0.23	30	50	12
				<u>1,889</u>		<u>1,271</u>

$$IR = \frac{1,889}{1,271} = 1.48$$

AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE UN PUENTE

Orden de precaución	10 km./hora
Velocidad en el tramo	60 km./hora
Aceleración o desaceleración	0.1 m/seg. ²
Costo de operación del tren - hora	\$ 1,500/tren - hora
Inversión en el puente	\$ 5.0 millones
No. de trenes diarios	25
Crecimiento del tráfico anual	7%

$$N = N_0 + a t$$

$$N = 60 \text{ km/hora} \times \frac{1,000}{3,600} = 16.7 \text{ mts./seg.}$$

$$N_0 = 10 \text{ km./hora} \times \frac{1,000}{3,600} = 2.8 \text{ mts./seg.}$$

$$\frac{N - N_0}{a} = t$$

$$\frac{16.7 - 2.8}{0.1} = t = 139 \text{ seg.}$$

$$\frac{139 \times 2}{3,600} = 0.077 \text{ horas/tren}$$

$$0.077 \times 25 = 1.925 \text{ horas diarias}$$

$$1,925 \times 365 \times 1,500 = \$ 1'053,938$$

AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE UN PUENTE

AÑO	TRAFICO No. TRENES	AHORRO ANUAL	FACTOR ANUAL 18%	AHORRO ANUAL ACTUALIZADO	INVERSION ACTUALIZADA
1	25	1.1	1.00	1.10	5.0
2	27	1.1	0.85	0.94	
3	29	1.2	0.72	0.86	
4	31	1.3	0.61	0.79	
5	33	1.4	0.52	0.73	
6	35	1.5	0.44	0.66	
7	38	1.6	0.37	0.59	
8	40	1.7	0.31	0.53	
9	43	1.8	0.27	0.49	
10	46	1.9	0.23	0.44	
				<u>7.13</u>	

$$IR = \frac{7.13}{5} = 1.42$$

TERMINO ANILLES NACIONALES DE MIAN
ANÁLISIS COMPARATIVO DE DURMIENTE DE MAF Y DURMIENTE DE CONCRETO

AÑO Y CONCEPTO	M A D E R A					C O N C R E T O				
	Costo Unitario \$	Número de unidades/km.	Costo Total \$	Factor de actualización	Costo Total actualizado	Costo Unitario \$	Número de unidades/km.	Costo Total \$	Factor de actualización	Costo Total actualizado
<u>AÑO 1</u>				1.000000					1.000000	
Durmiente	128.76	2,000	257,520.00		257,520.00	227.60	1,660	373,142.00		373,142.00
Clavo	2.25	8,000	18,000.00		18,000.00	-	-	-		-
Placa de acero	50.00	2,000	100,000.00		100,000.00	-	-	-		-
Ancla	8.06	8,000	64,480.00		64,480.00	-	-	-		-
Placa de hule	-	-	-		-	8.32	3,320	27,821.60		27,821.60
Grapa elástica	-	-	-		-	10.89	6,640	72,309.60		72,309.60
Cojinete	-	-	-		-	3.35	3,320	11,122.00		11,122.00
Perno	-	-	-		-	8.50	6,640	56,440.00		56,440.00
<u>AÑO 20</u>				0.116107					0.116107	
Clavo	2.25	8,000	18,000.00		2,089.93	-	-	-		-
Placa de acero	50.00	2,000	100,000.00		11,610.70	-	-	-		-
Ancla	8.06	8,000	64,480.00		7,486.58	-	-	-		-
Placa de hule	-	-	-		-	8.38	3,320	27,621.60		3,230.28
Cojinete	-	-	-		-	3.35	3,320	11,122.00		1,291.34
<u>AÑO 25</u>				0.065882					0.065882	
Durmiente	128.76	2,000	257,520.00		16,965.93	-	-	-		-
Grapa elástica	-	-	-		-	10.99	6,640	72,309.60		4,763.90
Perno	-	-	-		-	8.50	6,640	56,440.00		3,718.38
<u>AÑO 40</u>				0.012036					0.012036	
Clavo	2.25	8,000	18,000.00		216.65	-	-	-		-
Placa de acero	50.00	2,000	100,000.00		1,203.60	-	-	-		-
Ancla	8.06	8,000	64,480.00		776.08	-	-	-		-
Placa de hule	-	-	-		-	8.33	3,320	27,821.60		334.96
Cojinete	-	-	-		-	3.35	3,320	11,122.00		133.88
SUMA DE COSTOS			1,022,480.00		480,349.47			752,478.00		559,313.82

ANALISIS COMPARATIVO DEL COSTO DE REPONER UNA LOCOMOTORA DE 20 AÑOS DE SERVICIO O CONTINUARLA UTILIZANDO CON MAYORES COSTOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO

DATOS BASICOS DE EVALUACION

Costo de inversión locomotora 2, 000 H.P.	11'000, 000
Costo de conservación y reparación en los 10 primeros años de vida	550, 000/loc. -año
Costos de conservación y reparación a - - partir del año 20 de servicio	2'200, 000/loc. -año

ANALISIS COMPARATIVO DEL COSTO DE REPONER UNA LOCOMOTORA DE 20 AÑOS DE SERVICIO O CONTINUARLA UTILIZANDO CON MAYORES COSTOS DE REPARACION Y MANTENIMIENTO

AÑO	Costo de Adquisición y Reparación		Factor de actualización 18 %	Costo actualizado de adquisición y reparación	
	Nueva	Usada		Nueva	Usada
0	11'000,000	2'200,000	1.00	11'000,000	2'200,000
1	550,000	2'200,000	0.85	467,500	1'870,000
2	550,000	2'200,000	0.72	396,000	1'584,000
3	550,000	2'200,000	0.61	335,500	1'342,000
4	550,000	2'200,000	0.51	280,500	1'122,000
5	550,000	2'200,000	0.44	242,000	968,000
6	550,000	2'200,000	0.37	203,500	814,000
7	550,000	2'200,000	0.31	170,500	682,000
8	550,000	2'200,000	0.27	148,500	594,000
9	550,000	2'200,000	0.23	126,500	506,000
10	550,000	11'000,000	0.19	104,500	2'090,000
				13'475,000	13'772,000

EVALUACION ECONOMICA DE LA ADQUISICION DE UNA LOCOMOTORA PARA SATISFACER NECESIDADES ADICIONALES DE FUERZA TRACTIVA

DATOS BASICOS

Potencia		2,000 HP
Capacidad anual de arrastre al 100% de utilización		100,000 TBK/HP
Coefficiente de utilización		44 %
Coefficiente de disponibilidad		85 %
Capacidad real anual	$100,000 \times 0.44 \times 0.85 =$	37,400 TBK/HP
Capacidad real anual de la locomotora	$37,400 \times 2,000 =$	74'800,000 TBK
Relación de tonelaje bruto a tonelaje neto		2
Capacidad real anual locomotora	$74'800,000 \div 2 =$	37'400,000 TNK
Costo de transporte por vía férrea	=	\$ 0.16/TBK
Costo de transporte por TNK	=	\$ 0.32/TNK
Costo variable 69%	=	\$ 0.22/TNK
Costo de transporte por carretera	=	\$ 0.35/TNK
Costo adicional al transferir el tráfico		\$ 0.13/TNK
Costo adicional total	$\$ 0.13 \times 37'400,000 =$	4'862,000

EVALUACION ECONOMICA DE LA ADQUISICION DE UNA
 LOCOMOTORA PARA SATISFACER NECESIDADES ADICIONALES DE FUERZA TRACTIVA

AÑO	AHORRO EN COSTO	INVERSION	f. a. 18 %	AHORRO ACTUALIZADO
1	4'862,000	11'000,000	1.00	-
2	4'862,000		0.85	4'132,700
3	4'862,000		0.72	3'500,640
4	4'862,000		0.61	2'965,820
5	4'862,000		0.51	2'479,620
6	4'862,000		0.44	2'139,280
7	4'862,000		0.37	1'798,940
8	4'862,000		0.31	1'507,220
9	4'862,000		0.27	1'312,740
10	4'862,000		0.23	1'118,260
				<u>20'955,220</u>

$$IR = \frac{20'955,220}{11'000,000} = 1.9$$



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



ANALISIS DE INVERSIONES

TEMA: ANALISIS DE INVERSIONES EN UN PROYECTO PESQUERO.

PROF. M. en I. FERNANDO GOMEZ JARDON.

Abril, 1978.

FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

M. en I. Fernando Gómez Jardón

20 de septiembre de 1977

EL ANALISIS DE INVERSIONES
EN
UN PROYECTO PESQUERO

Se presenta un análisis de inversiones públicas a nivel regional para la rehabilitación de lagunas litorales.

De acuerdo con los estudios técnicos realizados en la zona -- se ha logrado determinar un importante potencial pesquero que podría aprovecharse mediante la rehabilitación de algunas lagunas junto con el establecimiento de un centro de investigación, un programa de extensionismo pesquero y obras de beneficio social que coadyuven con el mejoramiento de los habitantes ribereños.

En el estudio se plantean una serie de obras dentro del marco de objetivos y metas que se extractan a continuación:

OBJETIVOS

- a) Elevar el bienestar de la población asentada en torno a las lagunas litorales.

- b) Mejorar las condiciones ecológicas de las lagunas estuarinas de la Costa.
- c) Capacitar a la población pesquera.
- d) Ampliar el conocimiento de los recursos pesqueros.
- e) Dotar a la región de infraestructura para facilitar el desarrollo pesquero integral.

METAS		
Concepto	Situación Actual	Metas
1) Superficie mejorada de lagunas Costeras en Ha.	-	9 150
2) Producción de camarón blanco en Ton.	266.7	915.0
3) Producción de especies de escama en Ton.	1 096.4	3 482.0
4) Rendimiento unitario de camarón blanco en lagunas estuarinas Kg/Ha	29.1	100.0
5) Valor de la prod. pesquera en Millones de pesos.	12.9	42.8
6) Nuevos empleos en la actividad -- pesquera.	-	713
7) Pescadores beneficiados con las -- obras de infraestructura pesquera.	-	595
8) Pescadores beneficiados con programas de capacitación.	-	595
9) Embarcaciones adecuadas para la explotación pesquera lagunar.	-	69
10) Caminos nuevos y mejorados Km.	-	36
11) Población beneficiada con obras de		
a) Agua potable	2 000	4 900

b) Saneamiento	-	5 180
c) Energía eléctrica	- 2 000	4 900
d) Casas de salud	-	5 180
e) Educación primaria	1 330	1 800

El costo total de las obras es de 125 millones y se tiene programado gastarlo durante los cuatro primeros años. Dicho costo se compone en un 73% de inversiones en infraestructura, industrias conexas, equipo, obras de bienestar social y aportaciones para la investigación y extensionismo pesquero. El resto lo forman las contingencias y créditos para financiar el programa operativo de un año, que funcionaría como crédito revolvente.

El proyecto comprende básicamente la rehabilitación de tres lagunas con una superficie total de 9 150 ha: laguna A con 3 700 ha, laguna B con 2 500 ha y laguna C con 2 950 ha. En la A y la C se tiene proyectado establecer un frigorífico y en la B y la C se construirán una fábrica de hielo en cada una de ellas. En la tabla I se muestra el desglose del costo total:

Evaluación del proyecto:

Para la evaluación económica se obtuvieron los siguientes indicadores:

- 1) Relación beneficio-costos (B/C)
- 2) Tasa interna de retorno (TIR)
- 3) Valor presente del beneficio neto (VPBN)

Estos índices se computaron tanto para el proyecto global como para cada una de las lagunas y de las industrias conexas por separado. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

TABLE I

DISTRIBUCION ANUAL DEL PROGRAMA DE INVERSIONES Y CREDITOS
(MILES DE PESOS)

CONCEPTO	TOTAL	AÑO			
		1	2	3	4
COSTA DE GUERRERO	<u>125 022.1</u>	<u>59 892.5</u>	<u>38 435.8</u>	<u>16 525.9</u>	<u>8 117.9</u>
1. Obras de infraestructura pesquera	<u>93 377.4</u>	<u>25 400.0</u>	<u>7 977.4</u>		
Dragado de canales interiores	4 743.8	4 743.8			
Obras de toma y canales de conducción	2 295.2	2 295.2			
Centros de recepción	761.6	761.6			
Atracaderos	1 072.5	1 072.5			
Apertura y protección de cerras	14 425.0	7 212.6	7 212.4		
Caminos	7 581.6	7 581.6			
Energía eléctrica	2 527.5	1 762.5	765.0		
2. Industria conexas	<u>7 964.8</u>	<u>7 964.8</u>			
Fábricas de hielo	2 484.8	2 484.8			
Frigoríficos	5 480.0	5 480.0			
3. Equipos y artes de pesca	<u>6 411.3</u>	<u>6 411.3</u>			
Embarcaciones	1 104.0	1 104.0			

<u>CONCEPTO</u>	<u>TOTAL</u>	AÑO			
		1	2	3	4
Molinos	1 513.0	1 513.0			
Antes de pesca	789.0	789.0			
4 Obras de bienestar social	<u>29 347.6</u>	<u>4 205.6</u>	<u>16 509.6</u>	<u>9 632.4</u>	
Urbanización y vivienda	21 750.0	2 750.0	12 250.0	3 750.0	
Agua potable y saneamiento	4 107.7	1 455.6	1 702.1	950.0	
Casas de salud	615.0		307.5	307.5	
Escuelas	2 250.0		2 250.0		
Unidades cívicas	324.9			324.9	
5. Investigación científica y extensionismo técnico pesquero	<u>17 048.5</u>	<u>3 090.0</u>	<u>4 724.0</u>	<u>4 210.0</u>	<u>5 024.5</u>
Unidad de investigación en acuicultura	14 660.0	3 090.0	4 724.0	2 934.0	3 912.0
Centro de extensionismo técnico pesquero	2 388.5			276.0	1 112.5
TOTAL DE LA INVERSION EN OBRAS Y PROGRAMAS	<u>91 149.6</u>	<u>44 071.7</u>	<u>29 211.0</u>	<u>12 842.4</u>	<u>5 024.5</u>
CONTINGENCIAS POR ES- CALAMIENTO DE PRECIOS DURANTE EL PERIODO DE EJECUCION	<u>28 800.5</u>	<u>3 600.5</u>	<u>8 412.8</u>	<u>3 683.5</u>	<u>6 093.4</u>
CRÉDITOS NECESARIOS PA- RA FINANCIAR EL PROGRAMA PESQUERO	<u>10 072.0</u>	<u>9 200.0</u>	<u>672.0</u>		

TABLA II
INDICADORES ECONOMICOS

	Inversiones miles de pesos	B/C	TIR	VPBN miles de pesos
Proyecto global	91 149.6	1.71	30.57	88 076
Laguna A	30 518.9	2.20	51.06	50 746
Laguna B	32 431.8	1.14	15.30	5 632
Laguna C	27 934.4	1.88	47.31	32 247
Frigorífico en A	2 740.0	3.62	68.07	15 615
Frigorífico en C	2 740.0	2.01	35.21	4 804
F. de hielo en B	1 242.4	2.07	37.10	1 684
F. de hielo en C	1 242.4	2.07	37.10	1 684

A manera de ilustración, en este trabajo se presentan sólo las tablas de costos y beneficios correspondientes al proyecto global y al del frigorífico en A, en la inteligencia de que los otros son similares en cuanto a la forma y su metodología de cálculo.

La factibilidad financiera del proyecto se analizó a nivel de -- pescador obteniéndose individualmente la cuenta de caja de sus ingre sos y gastos derivados del proyecto en cada una de las tres lagunas.

Para cada año del funcionamiento del proyecto se obtuvo su sal do, de la siguiente manera: A los ingresos totales de cada pescador se le restaron los intereses correspondientes al 12% de los costos de producción y los costos por servicios (5% sobre el valor de la producción).

A lo que quedó se le agregó el saldo del año anterior y se le restaron las cuotas que cada pescador tendría que pagar por gastos de inversión y operación de las obras productivas vinculadas directamente con la actividad pesquera. Con esto resulta el saldo para el año siguiente, el cual, en todos los casos y a lo largo de la vida útil del proyecto resultó positivo.

La generación de empleos se sintetiza en el cuadro siguiente:

TABLA III
NUMERO DE EMPLEADOS

Laguna	Total de Pescadores	en la captura	reparaciones	oficinas	Comerc. y difusión.
A	240	224	8	4	4
B	165	152	5	4	4
C	190	176	6	4	4
Total	595	552	19	12	12

A partir de los indicadores obtenidos en el análisis de este proyecto sus autores concluyen: "Los indicadores muestran que el programa de inversiones propuesto en el Plan presenta una amplia viabilidad financiera y una sólida justificación económica".

En el resto del trabajo se presenta de manera resumida la metodología seguida en la evaluación económica del proyecto global y del frigorífico de la laguna A. También se incluyen algunas de las hipótesis adoptadas y los cálculos a que ellas conducen.

TABLA IV

EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO
 Relación Beneficio-Costo
 (Miles de pesos)

B E N E F I C I O S

PESQUEROS											
Años	Actua- les	Futu- ros	Incre- mentos	Frigorí- ficos	Fáb.de hielo	Total de l/bene- ficios	Beneficios actualiza- dos 12 %	Obras de Infraest. Pesquera	Obras de Bienestar - Social	Extens. Técnico Pesquero	Unid.de In- vestigaciór d/acuacult.
1	6 701.5	12 615.2	5 913.7			5 913.7	5 280.1	25 400.0	4 205.6		3 090.0
2	6 701.5	19 939.6	13 239.1	1 861.7	1 488.0	16 587.8	13 223.7	7 977.7	16 509.6		3 746.0
3	6 701.5	25 315.5	18 614.0	3 671.8	1 488.0	23 773.3	16 921.7		8 632.4	213.5	
4	6 701.5	29 633.7	21 932.2	4 296.5	1 488.0	27 716.7	17 614.5			50.0	
5	6 701.5	32 377.0	25 675.5	5 922.8	1 488.0	33 086.3	18 774.1				
6	6 701.5	33 734.0	27 032.5	6 371.8	1 488.0	34 892.3	17 678.6				
7	6 701.5	34 608.3	27 906.8	6 568.9	1 488.0	35 963.7	16 268.2				
8	6 701.5	35 005.4	28 303.9	6 568.9	1 488.0	36 360.8	14 685.5				
9	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	13 138.4				
10	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	11 730.7				
11	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	10 473.8				
12	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	9 351.6				
13	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	8 349.7				
14	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	7 455.1				
15	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	6 656.3				
16	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	5 943.1				
17	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	5 306.4				
18	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	4 737.8				
19	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	4 230.0				
20	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	3 777.0				
TOTAL	643 000.0	6 431 643.5	3 509 133.3	114 089.2	2 28 272.0	650 499.5	211 596.5	33 377.4	29 347.6	263.5	6 836.0

RELACION BENEFICIO COSTO 1,71
 TASA INTERNA DE RETORNO 30.57 %
 CAPITAL EN AÑOS — 6.5
 V.P.B.N. 88 076.4

C O S T O S

Frigorí- ficos	Fábricas de hielo	Equipo de pe .ca	Extens. Téc. Pesquero	Opera ción y Mant.	Total de costos	Costos actuali- zados 12%
5 480.0	2 484.8	3 411.3			44 071.7	39 349.7
1 081.0	156.0	789.3			2 946.8	33 206.1
981.0	156.0	789.3	1 062.5	4 902.8	16 647.5	11 849.4
901.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 829.6	5 617.7
990.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 872.6	5 630.0
995.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 883.6	4 501.0
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	4 020.0
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	3 590.0
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	3 205.3
1 000.0	156.0	3 411.3	1 062.5	5 880.8	11 510.6	3 706.1
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	2 555.3
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	2 261.5
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	2 037.0
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 818.2
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 623.9
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 449.9
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 294.6
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 155.9
1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 032.0
1 000.0	156.0	3 411.3	1 062.5	5 880.8	11 510.6	921.5
TOTAL	5 448.8	23 052.0	19 125.0	107 823.2	250 211.5	23 520.1

EL PROYECTO GLOBAL

Primeramente veamos la tabla general donde se concentran todos los costos y los beneficios de todo el proyecto y su actualización para obtener los indicadores económicos: (TABLA IV).

Como puede apreciarse en la tabla anterior, los beneficios considerados corresponden a los pesqueros, a los de los frigoríficos y a los de las fábricas de hielo.

Los Beneficios resultantes de la pesca se calcularon como una diferencia entre los beneficios que se obtendrían con el proyecto y los beneficios que actualmente se tienen.

BENEFICIOS ACTUALES

Volúmenes capturados.

Mediante investigación directa en las áreas lagunarias se obtuvo la siguiente tabla con los volúmenes y rendimientos anuales.

TABLA V
VOLUMENES EN TON.

Laguna	Camarón	Escama	Total	Superficie Has.	Rendimientos Kg/Ha		
					Escama	Camarón	Total
A	118.4	558.7	677.1	3 700	151	32	183
B	37.5	105.0	142.5	2 500	42	15	57
C	109.2	430.7	539.9	2 950	146	37	183
Suma	265.1	1 094.4	1 359.5				

COSTOS DE CAPTURA

Se tomaron en cuenta los datos de producción obtenidos por embarcaciones operadas por dos pescadores que trabajaron en un cayuco durante

200 días con un sueldo de \$ 37.5 diarios.

TABLA VI

Gastos anuales por cayuco.

Concepto	<u>Costo en pesos</u>
M.de O. 37.5 x 2 x 200	15 000
Equipo	2 350
Embarcación (costo anual)	500
	<hr/> 17 850

TABLA VII

Costo por ton capturada

Laguna	Producción anual por cayuco Ton.	Costo \$/Ton.
17 850 ÷	=	
A	4.0	4 462
B	2.8	6 375
C	4.2	4 250

Precios de mercado en la playa \$/Kg.

Camarón		Escama
Fresco	congelado	fresco
24.0	39.71	6.0

Con los datos anteriores se obtuvo la tabla de beneficios de la captura actual.

TABLA VIII
BENEFICIOS DE LA CAPTURA ACTUAL

Laguna	Especie	Vol. capturado	Valor \$/Ton	Costo de captura \$/Ton.	Beneficio \$/Ton.	Beneficio total. \$
		<u>677.1</u>				<u>3 146.0</u>
A	Camarón	118.4	24.0	4.5	19.5	2 308.0
	Escama	558.7	6.0	4.5	1.5	838.0
		<u>142.5</u>				<u>618.0</u>
B	Camarón	37.5	24.0	6.4	17.6	660.0
	Escama	105.0	6.0	6.4	- 0.4	- 42.0
		<u>539.9</u>				<u>2 937.5</u>
C	Camarón	109.2	24.0	4.2	19.8	2 162.2
	Escama	430.7	6.0	4.2	1.8	775.3
Suma		<u>1 359.5</u>				<u>6 701.5</u>

BENEFICIOS FUTUROS

Volúmenes de captura esperados.

Para esto fue preciso hacer algunas hipótesis de los rendimientos por ha. que se podrían obtener de camarón y de escama de acuerdo con experiencias obtenidas en otras partes del País. De igual manera se determinaron los periodos de maduración de los proyectos después de los cuales se considera que los rendimientos de captura por ha. se estabilizaran.

Cabe hacer mención que se ha considerado la posibilidad de que las embarcaciones que trabajan en un futuro dediquen 80 días al año, de un total de 245, a la pesca ribereña de especies tales como lisa, jurel, pargo, guachinango, tiburón y atún. Para este tipo de captura los rendimientos esperados también se hicieron proporcionales a las superficies de las lagunas.

En la tabla siguiente se presentan las hipótesis sobre los periodos de maduración y de los crecimientos de los rendimientos durante dichos periodos.

TABLA IX

Concepto Laguna	Laguna Camarón Escama		Escama Ribereña
A Período de maduración (años)	5	6	3
Actuales	32	151	-
Rendimientos Año 1	32	177	123
Kg/Ha. Estabilizado	100	240	141
B Período de maduración (años)	7	9	7
Actuales	15	42	-
Rendimientos Año 1	15	85	71
Kg/Ha. Estabilizado	100	240	142
C Período de maduración (años)	4	4	3
Actuales	37	146	-
Rendimientos Año 1	37	205	111
Kg/Ha. Estabilizado	100	240	139

COSTOS DE CAPTURA.

Estos costos fueron determinados a partir de los volúmenes de captura esperados. Con ellos y con los rendimientos que se podrían esperar de las embarcaciones idoneas para este tipo de pesca, se calculó el número de ellas, resultando ser 69 en el caso de que al año trabajen dos turnos durante 165 días de pesca en laguna y un turno para la pesca ribereña durante 80 días. Con base en estas premisas se obtuvo la tabla:

TABLA X
BENEFICIOS TOTALES FUTUROS
(miles de pesos)

Año	Volum capturado Ton.	Valor de la captura	Costo de la captura	Beneficios totales
1	2 701.1	21 007.2	8 392.0	12 615.2
2	3 155.2	28 456.8	8 517.2	19 939.6
3	3 523.0	33 860.4	8 544.9	25 315.5
4	3 820.0	37 329.0	8 695.3	28 633.7
5	4 048.4	39 860.4	7 483.4	32 377.0
6	4 199.2	41 485.2	7 751.2	33 374.0
7	4 297.0	42 252.0	7 643.7	34 608.3
8	4 381.5	42 759.0	7 753.6	35 005.4
9	4 397.0	42 852.0	7 773.7	35 078.3
10-20	4 397.0	42 852.0	7 773.7	35 078.3

FRIGORIFICO

A manera de ejemplo se describen brevemente la estimación de sus beneficios y costos calculados para efectos de evaluación que condujeron a los datos que se presentan en la tabla XI.

TABLA XI
RELACION BENEFICIO - COSTO
FRIGORIFICO A

Años	Beneficios		Actualización al 12%		Costo del Frigorífico	Operación y Conservación	Costo Total	Actualización el 12%	
	X	Y	X	Y				X	Y
1					2 740.0		2 740.0	2 446.4	2 446.4
2	1 456.7	846.7	1 161.3	675.0		610.0	610.0	486.3	
3	2 371.8	1 856.8	1 688.2	1 321.6		515.0	515.0	366.6	
4	2 407.5	1 887.5	1 530.0	1 199.5		520.0	520.0	330.5	
5	4 033.8	3 424.8	2 277.9	1 943.3		609.0	609.0	345.6	
6	4 482.8	3 868.8	2 271.3	1 960.0		614.0	614.0	311.1	
7	4 679.9	4 060.9	2 116.9	1 836.9		619.0	619.0	280.0	
8	4 679.9	4 060.9	1 890.1	1 640.1		619.0	619.0	250.0	
9	4 679.9	4 060.9	1 687.6	1 464.4		619.0	619.0	223.2	
10	4 679.9	4 060.9	1 506.8	1 307.5		619.0	619.0	199.3	
11	4 679.9	4 060.9	1 345.4	1 167.4		619.0	619.0	177.9	
12	4 679.9	4 060.9	1 201.2	1 042.3		619.0	619.0	158.9	
13	4 679.9	4 060.9	1 072.5	930.7		619.0	619.0	141.9	
14	4 679.9	4 060.9	957.6	830.9		619.0	619.0	126.7	
15	4 679.9	4 060.9	855.0	741.9		619.0	619.0	113.1	
SUMAS	56 871.7		21 572.8	18 061.5	2 740.0	8 439.0	11 179.0	5 957.5	2 446.4

Relación Beneficio-Costo X Y
3.62 7.38

Tasa interna de retorno 68.07%

VPBN 15 615.3 15 615.1

TABLA XII

GASTOS DE FRIGORIFICO
(Miles de pesos)

C O N C E P T O	A Ñ O S					
	1o	2o	3o	4o	5o	6o
COSTO DE PRODUCCION	<u>2 726</u>	<u>5 054</u>	<u>7 520</u>	<u>8 038</u>	<u>9 098</u>	<u>9 854</u>
Materia prima	2 304	4 512	6 848	7 296	8 256	8 832
Mano de obra	62	82	112	122	132	142
Energía eléctrica y combustible	100	150	200	210	250	270
Varios	260	310	360	410	460	510
COSTO DE OPERACION	<u>590</u>	<u>490</u>	<u>490</u>	<u>574</u>	<u>574</u>	<u>574</u>
Venta y propaganda	200	100	100	100	100	100
Administración	390	390	390	474	474	474
CONSERVACION Y MANTENIMIENTO	<u>20</u>	<u>25</u>	<u>30</u>	<u>35</u>	<u>40</u>	<u>45</u>
SUMAS	<u>3 336</u>	<u>5 569</u>	<u>8 040</u>	<u>8 647</u>	<u>9 712</u>	<u>10 373</u>

Es interesante hacer notar que este frigorífico servirá para congelar al camarón que se capture en las lagunas A y B, por lo que se estima que la demanda diaria de congelación de camarón sin cabeza variará de 1.0 ton el primer año hasta 3.7 ton cuando ya se haya estabilizado la producción.

Para atender a esa demanda de congelación se ha elegido una capacidad comercial de frigorífico de 100 Kg/15 min o sea 3.2 ton/turno de 8 horas.

Los costos en que se incurre para la congelación del camarón aparecen en la tabla XII.

Si el precio de venta LAB en planta del producto congelado es \$ 39.7/Kg los beneficios resultantes se pueden calcular como se muestra en la tabla siguiente:

TABLA XIII
COSTOS Y BENEFICIOS
(Miles de pesos)

Año	Volum Produc. Ton.	A Valor de las ventas	C o s t o s			B e n e f i c i o s	
			B Produc.	C Oper.	D Conserv. y mantenim.	X A-B	Y A-(B+C+D)
1	94	4 182.7	2 726	590	20	1 456.7	846.7
2	187	7 425.8	5 054	490	25	2 371.8	1 856.8
3	250	9 927.5	7 520	490	30	2 407.5	1 887.5
4	304	12 071.8	8 038	574	35	4 033.8	3 424.8
5	342	13 580.8	9 098	574	40	4 482.8	3 868.8
6-15	366	14 533.9	9 854	574	45	4 679.9	4 050.9

COMENTARIOS:

1) La ventaja de utilizar el VPBN como mejor indicador para fines de evaluación.

Como se puede apreciar fácilmente en las tablas XI y XIII la -- relación beneficio-costos puede hacerse variar fuertemente si se cambian los criterios para la obtención de los costos y beneficios. En el ejemplo del frigorífico, se puede apreciar que con el criterio "X" en el que como costos se consideran además de la inversión los costos de operación (que corresponden principalmente a sueldos del personal administrativo) y donde los beneficios se calcularon deduciendo del valor total de ventas únicamente el costo que se denomina de producción, compuesto por los gastos directamente ligados a la producción. Se tiene en este caso una relación $B/C = 3.62$.

En cambio con el criterio "Y" se obtiene una relación $B/C = 7.38$ debido a que como costo solo se considera a la inversión de 2.74 millones y en el cálculo de los beneficios se deducen del valor total de ventas todos los demás gastos del frigorífico.

A pesar de lo anterior puede apreciarse que el valor del índice VPBN, se mantiene constante e igual al 15 615.3 en ambos casos --- (X y Y).

Por otro lado, con el índice TIR debe tenerse mucho cuidado al emplearlo para comparar proyectos ya que frecuentemente se le considera equivalente a una tasa de interés a la que estaría trabajando el dinero invertido en el proyecto en cuestión. Ello sólo es cierto cuando el

dinero producido por el proyecto a lo largo de su vida útil sea reinvertido en otro proyecto similar para que siga produciendo con la misma tasa de interés ya que de lo contrario la tasa real a que se encuentra sujeta la inversión dependería de las otras alternativas de inversión.

La situación se torna más grave cuando se trata de comparar varios proyectos con distinta TIR ya que como se ha mencionado la tasa real del rendimiento de las inversiones variará con respecto a la TIR de manera diferente dependiendo de las opciones de inversión que cada proyecto tenga en el momento de irse recibiendo los beneficios.

Finalmente, el Índice VPBN aparte de no tener los problemas arriba mencionados permite contar con la exacta dimensión en cuanto a monto de beneficios se refiere, porque no es lo mismo invertir en un proyecto altamente rentable con poco beneficio que en un proyecto que no sea tan rentable como el anterior pero con un beneficio considerable. Resulta muy útil el VPBN cuando se busca contribuir un monto dado de inversiones entre una serie de proyectos definidos ya que con él se pueden elegir rápidamente aquellos proyectos que estando dentro de las posibilidades presupuestarias rinden los mayores beneficios y a la vez descartar los que aunque proporcionan grandes beneficios rebasen la disponibilidad financiera.

2) El Optimo parcial no necesariamente corresponde al óptimo global y ni siquiera debe considerarse a priori como un Sub óptimo.

En el ejemplo que se ha descrito del desarrollo de las tres lagunas de una región dada se habla de las ventajas que se obtendrían al emprender

der esa estrategia de inversión. Pero, por un lado, no se cuenta con -- ninguna referencia para tener idea de la prioridad de dichas ventajas con respecto a las que se tendrían al desarrollar otras regiones del país, ya que podría suceder que los beneficios obtenidos en otras partes fueran de tal manera considerables que las obras en cuestion resultaran francamente despreciables. De ahí la necesidad de que se elabore todo un plan general (nacional en este caso) para que aunque sea de manera general o a partir de una gran visión se puedan seleccionar aquellos proyectos que convenga analizarlos más detalladamente y que conduzcan - al óptimo general.

Por otro lado, en el ejemplo presentado se incluyen una serie de subproyectos individuales, como son los que corresponden a cada una de las tres lagunas, los de los frigoríficos y los de las plantas de hielo y tal parece que los costos y beneficios del proyecto global sólo representan una suma de los costos y beneficios de los subproyectos que lo integran, sin considerar las interrelaciones entre estos últimos, o como algunos autores denominan, las externalidades que provocan -- cada uno de los subproyectos, en los demás.

En el caso del frigorífico que se piensa instalar en la laguna A, -- los cálculos de su justificación se han hecho en base a que en él se procesaría no solo la producción de la laguna A sino también la que se --- obtenga de la laguna B. Es claro que de no rehabilitarse ambas lagunas

dichos cálculos podrían sufrir fuertes variaciones, como por ejemplo requerir un congelador menor, o los mayores costos de materia prima por concepto de transporte probablemente ya no justifiquen instalar el frígorigo, etc. Nuevamente aquí se ve la necesidad de visualizar el óptimo global y de plantear diversas alternativas que al ser -- evaluadas en conjunto permitan alcanzarlo realmente.

3).- Posibles mejoras al estudio.

A continuación se enumeran de manera general algunas sugerencias:

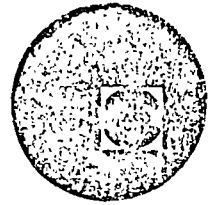
- a.- Sería muy util contar con un estudio de mercado que indicara las -- posibilidades de colocar el producto en el mercado local, regional, nacional o extranjero con señalamiento de su variación estacional y que definiera los mecanismos para su comercialización, sobre -- todo la forma en que se luchará contra el intermediarismo y sus -- efectos en la mejora de los ingresos de los productores.
- b.- Sería muy conveniente que se hubieran planteado diversas alternati- vas de tal suerte que la elegida demostrara sus ventajas sobre las demás.
- c.- También podrían plantearse diversas combinaciones de proyectos complementarios que de una manera dinámica se fueran desarrollan- do a lo largo de un cierto período programado.
- d.- Se podría presentar un análisis de sensibilidad de los resultados ob- tenidos con respecto a variaciones en los rendimientos esperados de volúmenes por ha., de captura por embarcaciones, de la tasa de --

de actualización, de los precios de mercado, precios de transferencia entre proyectos, costos de mano de obra, insumos, - etc.

- e.- En cuanto a los pronósticos de capturas, rendimientos, precios, ventas y demás variables aleatorias se podrían utilizar algunos métodos econométricos más refinados para su estimación.
- f.- Sería deseable un refinamiento en la determinación de los costos sociales del proyecto.
- g.- También sería conveniente un mayor detalle en la determinación de los costos de captura, sobre todo para imputarles adecuadamente a las especies que correspondan.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



ANALISIS DE INVERSIONES

TEMA: APLICACION .

PROF. M. en I. GUILLERMO CASTELLANOS .

Abril, 1978.

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

EVALUACION DE UN PROYECTO AGROPECUARIO

M. en I. Guillermo Castellanos G.

Sinopsis

El objetivo básico del proyecto consiste en el desarrollo agropecuario de la zona en beneficio directo de 1064 agricultores (36 propietarios y 1028 ojidatarios), para lo cual se utilizarían las aguas del rfo "A", regularizando su régimen convenientemente.

La superficie bruta del proyecto es de 14 782 ha. La infraestructura y los servicios existentes actualmente corresponden a un incipiente nivel de desarrollo. Las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería con bajos niveles técnicos de explotación y escasa diversificación. El valor de la producción agropecuaria en 1971 se estimó en 6.5 millones de pesos, en tanto que el valor agregado de esa producción fue de 4.2 millones de pesos. La población en 1970 era de 4 838 personas, las cuales prácticamente no cuentan con servicios públicos.

Se definieron y estudiaron diversas alternativas, incluyendo una sin obras de riego, y se hizo una comparación de ellas a través de diversos indicadores, habiéndose seleccionado la alternativa de construir una presa de almacenamiento, para fomentar el desarrollo agropecuario de la zona.

El programa agropecuario se basa en la implantación de un plan de cultivos que permitirá el aprovechamiento integral o intensivo de 11 000 ha. netas bajo riego que comprende el proyecto, las que con cultivos repetidos ascienden a 15 500 ha. Los cultivos más significativos son el arroz con 8 500 ha (incluyendo el área repetida), las praderas con 3 400 ha, forrajes de corte con 1 000 ha (incluyendo cultivos repetidos). También se proponen cultivos de gramíneas, frutales y hortalizas. Se propone realizar la explotación ganadera en las 3 400 ha. de praderas y en las 500 ha. de forrajes de corte. Se supuso un período de desarrollo en los rendimientos, alcanzando su estabilización en el décimoquinto año de iniciadas las obras, con un valor anual de producción de 109.9 millones de pesos, generando un valor agregado de 96 millones de pesos.

Las obras de ingeniería proyectadas consisten en una presa de almacenamiento con 192 millones de metros cúbicos de capacidad útil y 284.5 millones de metros cúbicos de capacidad total hasta el NAME, las redes de riego y drenaje necesarias y obras complementarias y de mejoramiento social. La presa está compuesta por una cortina de 49 m. de altura máxima sobre el fondo del cauce y 620 m. de longitud en su corona de materiales graduados, dos obras de toma en túnel con compuertas deslizantes para su control y excedencias con capacidad para descargar $2\,061\text{ m}^3/\text{seg}$ al paso de la avenida máxima probable. Los sistemas de riego y drenaje comprenden dos canales principales, con longitud de 21.2 y 32.1 km, redes de distribución formadas por un total de 142 km de canales revestidos y redes primarias de drenaje con extensión de 50 km.

Las obras complementarias consisten en edificios para las oficinas del Distrito de Riego y casas para los canaleros, en tanto que las obras de mejoramiento social consisten en la construcción de 316 casas para alojar a los agricultores de la zona y la rehabilitación de 4 poblados que se dotarán de servicios de agua potable y alcantarillado, centros de salud, escuelas, etc.

El presupuesto de las obras proyectadas alcanza la cifra de 249.3 millones de pesos. Se estimaron las cuotas que deberán pagar los usuarios para cubrir totalmente los costos de operación y conservación del distrito y los del programa de asistencia técnica, resultando de - - - -
\$ 10.35/millar de m³

Se verificó la factibilidad agrológica del proyecto, y el programa de construcción de las obras se estudió a nivel de factibilidad, concluyéndose que el sistema puede quedar terminado en un plazo de 3 -- años y medio.

Con el objeto de determinar la factibilidad económica del proyecto se calcularon diversos indicadores, entre los que destacan la relación beneficio-costos y la tasa de rendimiento interno, definiéndose alternativas de costo y de tasas de actualización. Las principales alternativas de costo del proyecto fueron las de incluir o excluir los correspondientes a las obras de mejoramiento de los poblados. Para el primer indicador se obtuvo 1.63 y 1.93 respectivamente utilizando 12% de tasa de actualización. Las tasas de rendimiento interno resultaron de 18.94% y 21.40% respectivamente. Los índices obtenidos muestran un carácter favorable, por lo que

el proyecto resulta altamente recomendable.

La factibilidad financiera se analiza a nivel de parcela agrícola, de unidad ganadera y del proyecto en su conjunto resultando que, desde el punto de vista financiero, el proyecto es factible.

Los conceptos sociales que implica el proyecto podrán ser resueltos satisfactoriamente a través de los programas propuestos en el mismo y con el estudio definitivo de la tenencia actual de la tierra. Por otra parte, existe una favorable aceptación del proyecto que será definitiva en la consecución de los objetivos del mismo.

II. - Costos

A continuación se presentan los costos estimados de obra en millones de pesos:

TOTAL	<u>249.3</u>
1. - <u>PRESA</u>	<u>100.4</u>
Cortina y dique	53.3
Ataguías y obras de toma	13.4
Obras de control y excedencias	24.8
Obra de desvío	8.9
2. - <u>OBRAS MARGEN DERECHA</u>	<u>53.0</u>
Canal principal	12.3
Red de distribución	13.3
Red de drenaje	6.9
Obras de mejoramiento social. - poblados	20.1
Obras complementarias	0.3

3.- <u>OBRAS MARGEN IZQUIERDA</u>	<u>48.2</u>
Canal principal	21.2
Red de distribución	8.2
Red de drenaje	3.2
Obras de mejoramiento social.-poblados y edifs.	15.2
Obras complementarias	0.3
4.- <u>Trabajos preagrícolas</u>	<u>12.3</u>
5.- <u>Campamento y camino de acceso</u>	<u>6.0</u>
6.- <u>OTROS</u>	<u>29.5</u>
Estudios y proyecto	4.4
Supervisión (10%)	22.0
Indemnizaciones	3.1

Las inversiones iniciales para operación y conservación se estimaron en \$ 2.6 millones correspondientes a equipo y maquinaria.

Los cargos anuales de operación y conservación se estimaron en \$ 2.2 millones. Por otra parte, los costos anuales de amortización y consumos de la maquinaria serían de \$ 0.8 millones, por lo que el total para este rubro sería de \$ 3 millones.

En lo relativo a las cuotas de agua, se consideraron los cargos anuales por operación y conservación, haciendo la suposición de que las hectáreas que se siembren con doble cultivo o con cultivo perenne

deban pagar una cuota doble que las hectáreas dedicadas a un cultivo anual.

Las cuotas resultantes fueron las siguientes:

Cultivos anuales:	\$ 155.96/ha.
Cultivos perennes	311.92

Considerando el importe anual de la asistencia técnica que se propono dar a los agricultores y ganaderos, las cuotas por este concepto serán:

Cultivos anuales	\$ 50.40/ha
Cultivos perennes	100.80

De lo anterior se obtiene un total de:

Cultivos anuales	\$ 206.36/ha
Cultivos perennes	412.72

Se realizó también una estimación de las cuotas en caso de que se cobrara por volumen. Aceptando que la eficiencia de conducción sea del 85%, lo que corresponde a la red de canales revestidos propuesta, el volumen total entregado en las tomas granja asciende a 386.6 millones de metros cúbicos anuales. Dividiendo entre esta cifra los importes de los costos anuales del distrito se obtienen las siguientes cuotas:

Por operación y conservación	\$ 7.82/millar de m ³
Asistencia técnica	2.53
Suma	10.35

III. - Justificación técnica de la necesidad de riego.

En el período seco, de noviembre a abril, los valores medios de lluvia mensual varían desde 1 hasta 51 mm. y se estima que la lluvia aprovechable en ese período es nula, en tanto que los usos consuntivos medios durante estos meses son altos, variando de 80 a 272 mm. Por lo anterior, es necesario cubrir esa deficiencia mediante el riego.

En los meses de mayo a octubre, las lluvias mensuales varían de 141 a 319 mm., pero en estos meses, la demanda de los cultivos considerados es aún mayor variando de 158 a 317 mm. A excepción del mes de septiembre, en el resto de los meses la demanda es mayor a la lluvia.

Si se considera la lluvia aprovechable, destaca más la necesidad de riego ya que los valores varían de 61 a 184 mm, y resultan bastante inferiores a las demandas.

IV. - Adaptación y distribución de cultivos propuestos

Resuelto el problema de drenaje que constituye, el factor que en mayor grado limita la utilización de los suelos del proyecto, tanto en condiciones de temporal como de riego, todos los cultivos propuestos se adaptarán a las condiciones climáticas y agrológicas de la zona.

A continuación se presentan las superficies en hectáreas consideradas para cada cultivo.

	1a. Cosecha	2a. Cosecha.	Total
SUMA	<u>11 000</u>	<u>4 500</u>	<u>15 500</u>
Praderas 1) 2)	3 400	-	3 400
Arroz	5 000	3 500	8 500
Mafz forrajero 1)	500	-	500
Sorgo forrajero 1)	-	500	500
Frijol.	400	100	500
Mafz grano	400	200	600
Soya	300	-	300
Chilo verde	200	-	200
Aguacate 2)	200	-	200
Cacahuate	200	-	200
Tomate	-	200	200
Cebolla	100	-	100
Mango 2)	100	-	100
Papaya 2)	100	-	100
plátano 2)	100	-	100

1) Para explotaciones pecuarias

2) Cultivos perennes.

V.- TENENCIA DE LA TIERRA

La superficie susceptible de riego asciende a 11 000 ha. notas, las que se deberán distribuir de acuerdo a la Ley Federal de Aguas entre las personas que actualmente se dedican a las actividades agropecuarias en la zona.

En total existen 36 propietarios privados a los que se les asignará una superficie media de 20 ha. a cada una. Las 10 280 ha. restantes serán de régimen ejidal en donde se colocarían a los 380 ejidatarios con posesión definitiva y a los 332 ejidatarios sin parcelación definitiva que actualmente radican en la zona. Se han considerado dotaciones de 10 ha. por ejidatario, por lo que aún quedarían 3 160 ha. para recomodar a los afectados por la zona del vaso de la presa.

VI.- Rendimientos, precios y costos.

En la estimación de los rendimientos se tomaron en consideración las condiciones ecológicas de la región y los elementos físicos y humanos existentes en la zona. En la elaboración de los costos unitarios de los cultivos propuestos se consideró el empleo de maquinaria, semilla mejorada, fertilizantes e insecticidas además del valor de la mano de obra necesaria en las labores de cultivo, de acuerdo con los salarios mínimos regionales.

En el siguiente cuadro se presentan los rendimientos, precios y costos unitarios de los cultivos propuestos, desde el año de su implantación hasta el undécimo año en que se estabilizan.

- Rendimientos y costos -

Cultivo	Precio \$/ton.	AÑO 1		AÑO 5		AÑO 11	
		ton/ha	\$/ha.	ton/ha.	\$/ha	ton/ha	\$/ha.
ANUALES							
Arroz	1 250	2.0	1 603	5.0	1 603	5.0	1 603
cacahuate	1 600	1.5	1 364	3.0	1 364	3.0	1 364
Cebolla	670	8.0	2 460	15.0	2 460	15.0	2 460
Chilo verde	2 200	8.0	2 144	15.0	2 144	15.0	2 144
Frijol	2 100	0.7	1 251	1.5	1 251	1.5	1 251
Maíz	940	1.6	1 182	4.0	1 182	4.0	1 182
Maíz forrajero	-	50.0	-	80.0	-	80.0	-
Sorgo forrajero	-	80.0	-	105.0	-	105.0	-
Soya	1 900	1.2	1 624	2.0	1 624	2.0	1 624
Tomate	1 600	12.0	4 184	20.0	4 184	20.0	4 184
PERENNES							
Aguacate	2 450	-	-	9.0	3 024	14.0	3 795
Mango	850	-	-	10.0	2 599	20.0	4 109
Papaya	600	-	-	30.0	3 655	30.0	3 655
Plátano	500	-	-	20.0	2 150	20.0	2 150
Praderas	-	-	-	75.0	-	75.0	-

VII.- Valores, costos y beneficios de la producción.-

En base a los rendimientos, precios y costos unitarios estimados y a las superficies de los cultivos propuestos, se calcularon los volúmenes, valo-

ros, costos y beneficios de la producción agrícola futura. Estos conceptos alcanzan su máximo valor y su estabilización de rendimientos a partir del décimoquinto año de iniciadas las obras del proyecto.

Los cultivos de maíz y sorgo forrajeros y praderas no se incluyen dentro del programa agrícola, por ser insumos de la ganadería y analizarse dentro del programa ganadero.

- MILLONES DE PESOS -

Año	VALORES			COSTOS			BENEFICIOS		
	Anuales	Perennes	Total	Anual	Peren.	Total	Anual	Peren.	Total
4	18.9	-	18.9	10.4	-	10.4	8.5	-	8.5
7	62.2	2.2	64.4	17.2	0.5	17.8	45.0	1.7	46.6
10	73.1	8.1	81.1	17.2	1.4	18.7	55.8	6.6	62.4
15	73.1	11.4	84.4	17.2	1.8	19.0	55.8	9.6	65.4

VIII.-Programa Ganadero

La zona del proyecto presenta condiciones favorables para el desarrollo de la ganadería, especialmente la engorda de bovinos, las que no han sido aprovechadas debido a las deficientes prácticas en que se basan las explotaciones actuales.

El tipo de ganado que se propone es el cobú pura raza ó criollo cruzado con cobú. Aunque la engorda de ganado en base a la adquisición de novillos es la explotación que proporciona los ingresos inmediatos mas altos, ésta tiene problemas en el abastecimiento constante y seguro de los novillos, por lo que la explotación mas segura es la de cría y engorda combinadas.

La superficie de riego destinada a este programa es de 3 900 ha, dentro de la que se propone implantar el cultivo de praderas en 3 400 ha y el de forrajes de corte en las 500 ha. restantes, siendo estas cultivadas con maíz forrajero en verano y sorgo forrajero en invierno.

De acuerdo con las prácticas zootécnicas indispensables que se impondrán, se estima un aumento diario de peso de 0.6 kg. en el ganado de engorda.

La unidad económica de explotación que se propone es de 100 ha, lo que implica la agrupación de pequeños propietarios y ojidatarios en un número no mayor de 10.

Cada unidad estaría compuesta por 2.5 ha. para las instalaciones y construcciones, 85 ha. para el cultivo de las praderas y 12.5 ha para cultivo de maíz y sorgo forrajeros. La relación entre el volumen de producción y la demanda anual por unidad animal determinan la capacidad de carga de la unidad tipo, la cual a partir del cuarto año es de 579 unidades animal.

Las inversiones requeridas para las construcciones, equipo y ganado para la instalación del pie de cría en los cinco primeros años ascienden a \$ 858 610.00

La explotación ganadera consiste en la producción de carne para abasto a través de la instalación de un pie de cría. En los primeros años de esta instalación, el pie de cría debe ser menor que el que podría soportar la capacidad de carga, con el fin de tener disponibilidades forrajeras para la engorda de novillos y obtener un flujo de ingresos que permita a los

criaderos cubrir sus gastos y obtener beneficios de la explotación.

La venta de ganado en pie en la unidad tipo se inicia desde el primer año de instalación con los novillos de engorda. En el segundo año las ventas están formadas por los novillos de engorda y por las vacas de vientre que se desochan y a partir del tercer año se inicia la venta de productos del pie de cría. En el décimo año se ha estabilizado la explotación del pie de cría y ya no es necesario recurrir a la engorda de novillos.

El precio de la carne en pie "a puerta de rancho" se estima en --- \$ 8.00 / kg. A las vaquillas se los considera un valor adicional de ---- de \$ 250.00 por estar cargadas y a los sementales se los considera un valor de \$ 6 000.00 después de haber prestado servicio por 4 años.

El valor de la producción una vez estabilizada la unidad ganadera asciende a \$ 637 650.00 anuales.

Los costos de producción se dividen en fijos y variables. Los primeros corresponden al costo de producción de las praderas, del maíz y del sorgo forrajeros, además de los costos de conservación y mantenimiento de las instalaciones y del equipo. Los costos variables están formados por alimentación suplementaria, programa sanitario, salario de los vaqueros, adquisición de novillos y compra de sementales para reposición. Los costos de producción se estabilizan a partir del décimo año en ----- \$ 193 566.00 anuales.

Los beneficios de la explotación alcanzan su máximo valor en el cuarto año en \$ 751 587.00 por la engorda de novillos y se estabiliza en -- \$ 444 034.00 anuales a partir del décimo año, por lo que el beneficio por --

hectárea resulta de \$4440.84 anuales.

X.- Necesidades de mano de obra

El total de jornadas-hombre que se necesitarán con el plan de cultivos propuesto es de 466 280. Actualmente se estima que se emplean 135 759 por lo que el incremento anual será de 330 529 jornadas-hombre.

Considerando el salario mínimo rural de \$ 17.00 diarios, el incremento en el valor de la ocupación será de 5.6 millones de pesos, a partir de la estabilización de la producción.

En la explotación ganadera el valor de los salarios a los vaqueros será de 2.4 millones de pesos a partir del cuarto año de instaladas las unidades ganaderas. Actualmente se pagan 0.3 millones de pesos, por lo que el incremento será de 2.1 millones de pesos.

XI.- FACTIBILIDAD ECONOMICA

Los indicadores utilizados para determinar la factibilidad económica del proyecto son: incremento en el valor agregado, relación producto/capital y ocupación/capital, la relación beneficio/costo y la tasa interna de rendimiento.

a) Valor agregado,-

El incremento del valor agregado se obtuvo a partir de la diferencia del valor agregado en la etapa de estabilización de la producción futura y el correspondiente a la producción actual.

El valor agregado se obtuvo a costo de factores, ya que se han

déducido los insumos agropecuarios, considerándose únicamente el valor de la mano de obra, los impuestos e intereses y las utilidades brutas. El valor del incremento resulta ser de 91.9 millones de pesos, que es 21.9 veces mayor que el valor actual.

VALOR AGREGADO (- Millones de \$ de 1972)			
	Actual	Futuro	Incremento
TOTAL	<u>4.2</u>	<u>96.1</u>	<u>91.9</u>
PRODUCCION AGRICOLA	3.4	73.1	69.7
PRODUCCION GANADERA	0.8	23.0	22.2

b) Relaciones producto/capital y ocupación/capital

La relación producto/capital se obtuvo dividiendo el incremento anual del valor agregado imputable al proyecto entre el costo anual equivalente de la inversión.

Los costos anuales equivalentes resultaron de 19.5 y 23.3 millones de pesos para los casos de no inclusión de poblados a inclusión de poblados respectivamente para una tasa del 12% de interés. Estos valores relacionados con los 91.9 millones de pesos de incremento en el valor agregado dan índices de 4.7 y 3.95 para las dos alternativas, que pueden considerarse como muy favorables.

En el cálculo de la relación ocupación/capital se ha considerado el incremento anual de los salarios de 7.7 millones de pesos que generará el proyecto relaciona

el proyecto relacionado con los costos anuales equivalentes de la inversión y resultan valores de 0.39 y 0.33 para las dos alternativas consideradas. Estos índices son bajos, debido al abundante empleo actual de mano de obra que existe en la zona y al bajo salario mínimo de la región.

c) Relación Beneficio/costo

Los valores obtenidos para las dos alternativas fueron de 1.93 y 1.68 que se estiman muy favorables para la realización del proyecto.

Con el fin de tener un amplio margen de seguridad en los resultados, se realizó un análisis de sensibilidad en el que se supuso que los costos de producción así como los de operación y conservación sufrieran un incremento del 15%, permaneciendo lo demás sin modificaciones. Los valores obtenidos fueron de 1.70 y 1.43

Los valores del beneficio neto actualizado resultaron de 180.1 y 151.0 millones de pesos para las alternativas seleccionadas.

AÑO	B E N E F I C I O S				C O S T O S						
	AG.	GAN.	TOT.	ACT.	CONST.	INST. GAN.	FRUT.	OPERAC.	EXT.	TOT.	ACT
1	-	-	-	-	11.0	-	-	-	-	11.0	9.
2	-	-	-	-	45.4	-	-	-	-	45.4	36.
3	-	-	-	-	104.0	-	-	-	-	104.0	74.
4	5.0	-	5.0	3.2	52.4	-	-	1.5	0.5	54.4	34.
5	17.1	7.6	24.7	14.0	-	11.2	1.9	3.0	1.0	17.2	9.
6	30.9	22.6	53.5	27.1	-	10.2	0.4	3.0	1.0	14.7	7.
7	43.1	25.6	68.7	31.1	-	6.0	0.4	3.0	1.0	10.5	4.
8	53.0	29.6	82.6	33.4	-	4.5	0.1	3.0	1.0	8.7	3.
9	52.1	25.8	77.9	30.3	-	2.3	0.1	3.0	1.0	6.4	2.
10	59.9	22.4	82.3	26.2	-	-	-	3.0	1.0	4.0	1.
11	59.5	13.6	73.1	22.5	-	-	-	3.0	1.0	4.0	1.
12	60.1	15.2	75.3	19.3	-	-	-	3.0	1.0	4.0	1.
13	60.7	15.8	76.5	17.6	-	-	-	3.0	1.0	4.0	0.

14	61.3	17.3	78.7	16.1	-	-	-	3.0	1.0	4.0	0.3
15	61.9	17.3	79.3	14.5	-	-	-	3.0	1.0	4.0	0.7
16	2415.4	676.1	3091.5	119.2	-	-	-	118.1	33.0	156.2	6.2
	2985.3	894.1	3879.4	374.4	212.7	34.3	3.1	152.3	49.4	491.9	194.2

SUMA

$$\text{Relación beneficio / costo} = \frac{374.4}{194.2} = 1.93$$

c) Tasa de rendimiento interno

Los valores obtenidos para este indicador de rentabilidad resultaron de 21.4% para la alternativa de no considerar los costos de los poblados y 18.94% para la otra alternativa.

XI. - FACTIBILIDAD FINANCIERA

El costo total de las obras asciende a \$ 252.4 millones a invertir en 3 años y medio, de los que 11.7 corresponden al primer año, 60.9 al segundo, 119.6 al tercero y 60.2 a los primeros 6 meses del cuarto año.

Los requerimientos de financiamiento agropecuario se estimaron con base en las necesidades del programa y en las modalidades de operación de las instituciones oficiales de crédito.

El financiamiento se ha separado en créditos de avío y refaccionarios, estimándose los recursos bancarios y su recuperación iniciándose al igual que el funcionamiento del distrito en el segundo semestre del 4o. año del proyecto.

Las necesidades de crédito de avío, tanto agrícola como ganadero, están calculados para financiar el 70% de los costos de producción. Los préstamos serán amortizados en el mismo ejercicio en que se otorgan y causan un interés del 10% anual.

El crédito refaccionario estaría destinado a financiar el total de las inversiones en instalación de frutales y de las unidades ganaderas. Se ha supuesto que los préstamos serían otorgados con un plazo de gracia de 5 años, es decir, hasta que se ejercieran totalmente, amortizándose en un período de 6 años con pagos anuales iguales y con tasa de interés del 12% sobre saldos insolutos.

RECURSOS BANCARIOS

- Millones de \$ -

AÑO	NECESIDADES		RECUPERACIONES ACUMULADAS		
	ANUAL	ACUMULADO	PAGADO	INTERESES	TOTAL
4	7.3	7.3	7.3	0.7	8.0
5	30.8	38.1	24.9	4.1	29.0
6	37.6	75.7	51.9	9.6	61.5
7	32.8	108.5	78.2	15.9	94.1
8	32.6	141.1	106.1	22.9	129.0
9	27.9	169.0	131.6	29.9	161.5
10	24.5	193.5	162.3	36.1	198.4
11	23.0	216.5	191.6	41.4	233.0
12	21.2	237.8	219.1	45.3	264.9
13	19.3	257.1	244.7	49.2	293.9
14	18.7	275.8	269.6	51.8	321.4
15	13.3	289.1	289.1	53.1	342.2

Se realizó también un análisis financiero a nivel de parcela agrícola de 18 ha, considerando que en ella se practican los cultivos

representativos del programa. Los ingresos estimados se calculan de los valores de producción y los egresos corresponden a los costos de producción de los cultivos, intereses de los créditos, pago del seguro agrícola, consumo familiar, pago de cuotas de agua y amortización de las obras. Los resultados indican una alta rentabilidad de la parcela.

En el caso de la unidad ganadera de 100 ha se considera integrada por 10 parcelas ejidales. Los ingresos están formados por las ventas de ganado y por el valor de la mano de obra que aportarían a la explotación y los egresos estarían constituidos por los costos de producción, intereses, amortización de créditos, seguro agrícola y pecuario, consumo familiar, cuotas de agua y amortización de las obras. Los saldos disponibles presentan resultados positivos con una clara tendencia ascendente que demuestra su factibilidad financiera.

Finalmente respecto a la cuenta de fuentes y usos de fondos del proyecto en su conjunto indican que los saldos son nulos en los tres primeros años y a partir del cuarto año se tienen saldos positivos que para el octavo año son del orden de las inversiones totales en el proyecto y para el décimosexto ascienden a 748.2 millones de pesos, lo que indica la solvencia financiera del proyecto.

FUENTES Y USOS DE FONDOS DEL PROYECTO

- Millones de pesos -

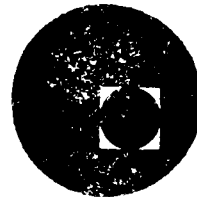
	AÑO 1	AÑO 4	AÑO 8	AÑO 16
FUENTES				
presupuesto	11.7	60.2	-	-
Valor producción	-	18.9	126.5	109.9
Crédts. agrop.	-	7.3	32.6	13.3
Reservas amort.	-	-	10.1	10.1
Saldo año anterior	-	-	150.9	681.2
TOTAL	11.7	86.4	320.2	814.5
USOS				
Inversión fija	11.7	60.2	-	-
Costos produc. 1)	-	8.1	32.2	18.8
Operac. y conserv.	-	1.5	3.0	3.0
Consumo fami liar	-	5.3	8.3	18.8
Extensioismo	-	0.5	1.0	1.0
Pago de crédi- tos	-	8.0	35.0	14.6
TOTAL	11.7	83.6	79.9	56.2
Saldo disponible	-	2.7	240.2	758.3
Reservas amortiz.-	-	-	10.1	10.1
Saldo año siguiente	-	2.7	230.1	748.2

CONCLUSION

Por lo anteriormente indicado, la conclusión principal de este estudio es que el proyecto resulta altamente recomendable.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



ANALISIS DE INVERSIONES

TEMA: FUNDAMENTOS DE LA EVALUACION DE PROYECTOS APLICACIONES.

Abril, 1978.

PUBLIC EXPENDITURES AND POLICY ANALYSIS

Edited by

ROBERT H. HAVEMAN

Grinnell College

and

JULIUS MARGOLIS

Fels Institute

University of Pennsylvania

a MARKHAM book from
Rand McNally College Publishing Company
Chicago

CH APTER 22

PROBLEMS OF RESOURCE ALLOCATION IN HEALTH

Robert N. Grosse

INTRODUCTION

At this stage of our knowledge about how to improve resource allocations within the field of health, it is much easier to discuss problems than to point out solutions.

Approaches to better resource allocation decisions require insight into who participates in the allocating process, what the resources are, the groups to which we allocate and the accomplishments of differing allocations.

Allocations take place in the "market"—either the conventional one of money bidding for goods and services, or that of political forces and coalitions, or most usually some combination of the two. Rather than address the awesome challenge of explaining how resources are allocated throughout the entire health area—I would like to narrow my comments to problems of resource allocation on the part of a governmental or quasi-public agency which has control over allocating some of the resources at stake. Such agencies function within economic and political marketplaces, and must take the existing operations of these markets into account, but they may also be concerned with improving the allocation process itself.

In particular, this paper discusses some of the informational requirements involved in improving the allocation process, and describes approaches taken by analysts in the Department of Health, Education, and Welfare to develop information, analyses, and a planning system.

Resource allocation decisions usually appear as allocations among "programs," but that is probably too neutral a term to convey much meaning.

Clearly, we allocate among organizations. Governmental budget and legislative decisions do this, and voluntary groups such as community chests and welfare federations do. We allocate among institutions—hospitals

Robert N. Grosse is Professor of Health Planning at The School of Public Health of the University of Michigan.

tals, medical schools, research institutions, nursing homes, neighborhood centers, third party insurers.

We also allocate among beneficiary or target populations such as Indians, Negroes, whites, the poor, the middle class, the retarded, veterans, etc.

We allocate among professions—or between professionals and target populations, so much to psychiatrists, to other physicians, to nurses, to social workers, to professors, and to the individuals requiring the services of these different professional groups.

We allocate among locations—central city versus suburban versus rural, North as against South, Texas as against Massachusetts.

We also allocate over time, investing in building hospitals and nursing homes, training nurses and doctors, and biomedical research and development, as opposed to purchasing current services.

In another sense of time, we allocate among generations—such as children, working age, aged.

We also allocate among health problems such as diseases: tuberculosis, syphilis, mental illness, cancer, etc.; among approaches to disease control: research, prevention, and treatment; between approaches: categorical versus comprehensive programs.

Although I have touched on only a few examples, even thinking about targets for allocation introduces complexities. Learning how we have been allocating is hard, and deciding what to do may seem impossible. It is easier to select one facet, such as multiple sclerosis, underfed children in Texas, or cancer care, and develop tactics to secure more money for it than to determine the economic and political strategies for solving allocation problems—who or what gets less when some get more.

What is it that's allocated? We usually think of money—and that's a meaningful and convenient measure, but we recognize that scarcity of resources in physical terms sometimes may be more constraining and thus more significant—number of physicians and their time, availability of facilities for the mentally retarded, transplantable organs, kidney dialysis units, and personnel. Among the things we are allocating may be life and death.

Nevertheless resources are allocated every day in any complex organization. But the problem which faces us is to make "better" allocation decisions. It seems reasonable that a better understanding and measurement of the costs (what is given up) and the effects (what is accomplished) of various possible courses of action will improve allocation decisions. The search for a clearer identification of what we are really trying to accomplish and how we are going about it has led to more

systematic thinking about objectives and classification, information and analysis systems.

These ideas—few of them novel—are surfacing as aids in resource allocation decisions at a time when the health planning field itself is under great stimulation. This stimulation is being caused by increasing interest in health services on the part of the American people, evidenced by the growth of personal and governmental health expenditures, increasing concern over mounting costs and prices, and moves on the part of the federal government to require and support planning and decisionmaking at state, regional, area, and community levels.¹ Some hope that planning can work may also come from the assumption that the systematic techniques of systems engineering, operations research, cost-effectiveness analysis, and program budgeting make the task more feasible.

How do we proceed to better understanding? The first step would be to structure the significant elements of our health system. There are many approaches to this—let me discuss one that has been meaningful to me.

We start with identifying problems—health situations which need improvement and where intervention or change may be useful. This involves an assessment of our population and its subsets in terms of health status and access to health services. It also involves examining environmental hazards and social forces which threaten to affect adversely the normal development or health of our people.

Second, what are the current and potential activities that are or might be addressed to these problems—and we need to know not just the what of them, but also the who and the how—who manages and carries them out, with what instrumentalities, how are they organized, and who benefits? These include the delivery of personal health services, environmental control, consumer education, and programs to affect social factors related to mental health.

Third, we need to know what stock of assets are needed for health activities—knowledge, technology, manpower, and facilities. What do we have, how are these stocks added to, and how are they organized into desired activities?

In addition, we need to understand how resources are or could be financed, the effects of various financing mechanisms, and the barriers between consumers and services—financial and social.

We need evaluations to understand what programs accomplish—how the delivery of services affects health; how environmental control programs affect the ambient world; and at what costs?

All of these form a system of interdependencies or interrelationships. For example, through the political and budgetary process resources are

allocated which, in turn, provide services or goods that benefit certain sectors or groups in our country. The process, furthermore, appears to be somewhat circular in that we have what students of cybernetics would call a "feedback" effect. One of our problems in resource allocation is that we are never sure whether the feedback will be positive or negative. Will the beneficiaries of a policy alternative feel that they are actually getting benefits? I suppose that in Los Angeles if we were able to implement a program which would suddenly get rid of smog, most citizens would be quite pleased and we would expect to get a positive feedback to continue or increase our program. On the other hand, many health programs are not so visible, or it may take several generations for us to be able to discern their impact (for example, biomedical research activities).

Finally, we also need to understand the political environment in which we work.² We must be able not only to identify where it makes sense to intervene, i.e., where political and economic costs can be minimized, but also to appreciate the broader policy concerns which set the context for our activities.

Analysis of major policy areas like health is not just a mechanical exercise of mathematics; we have to consider qualitative factors as well which may affect the outcome of our studies. Indeed, sometimes this is all we have to work with. Knowing the number of beds in a hospital or the beds' utilization rate is only a rough index of capacity and not a measure of the quality of care. Similarly, there are tradeoffs between health services and education for improving the communication flow between patient and doctor; such tradeoffs may actually involve value conflicts where we cannot measure the benefits of education and health in the same terms and in these situations the judgment of political decisionmakers is required to resolve the conflict.

Now I would like to be more explicit and give some content to terms like better resource allocation.

Improving the allocation of health resources does not necessarily mean saving money or cutting budgets. In fact, in order to make improvements sometimes we have to spend more. What is meant is getting more out of the resources such as money, time, doctors, drugs, nurses, etc., which are involved in health activities. As we are all aware, the country needs more physician and nursing services. But our problem is not just how much more; we are also concerned with the distribution of these scarce resources. We want to find ways to increase the productivity of the doctor, but we also want to make sure that all segments of our nation are able to receive medical care when they require it. Thus, when we talk about improving or maximizing the use of our scarce health resources, we can mean many

things and what we mean exactly is a function of the analysis or problem under consideration.

Actually the annual cycle of the budget process establishes the context of resources allocation decisions in the public sector. We often talk about the budget as a plan. When we make budget decisions we are setting priorities for the attainment of various goals either by adding, cutting back, or modifying programs. There is some truth to the saying that budget decisions are program decisions. But the saying is also misleading because the relation of the budget to current and future programs is frequently obscure and uncertain. The budgetary categories are frequently either administrative organizations such as government bureaus or resource inputs such as construction or personnel. To determine the "program" for alleviating mental retardation, for example, one must analyze in some depth the programs of a score of bureaus in several different agencies. Further, most often neither the impact on future years beyond those for which we are budgeting, nor the program objectives within whose context the budget has been formed are made explicit. Somehow we must attempt to reduce the uncertainty of dealing with the future; we have to plan even if most plans have to be continually revised.

To talk about uncertainty reduction is relatively easy but to do something about it is quite different. Health is a rapidly changing policy area. The technology of delivering medical services, the list of our health priorities and goals, and even the definition of what we mean by health—all are in flux. But the fact of a dynamic social and physical environment argues for more knowledge, for more analysis and understanding. For example, we have to know how well we have been doing with our current programs. In a complex organization, it is not unusual not even to be aware of just what these programs are, let alone to have some technique for evaluating them. Most studies of actual decisionmaking find that the problem solver starts looking for alternatives somewhere around the neighborhood of the present alternative. It is not just that planners or problem solvers are myopic; we also have our own resource problems. There are costs of getting additional information and there is also a scarcity of trained analysts. But in spite of these limitations, one of the signal contributions of planning and analysis is to extend the range of search, to seek out and develop new, imaginative, and hopefully better, alternatives.

This we attempt to do by developing a "model" or a framework to analyze the particular health system or subsystem. Such a model explicitly takes into account the same informational needs which I have mentioned. It abstracts the relevant features of the various institutions that are germane to the particular health problem which we are examining. This process of system definition sets the stage for our work by limiting the

problem to which we pay attention. We have to delimit or arbitrarily set boundaries around the problem. Thus, one aspect of system definition or model construction is to define boundaries. Another aspect of system definition is to develop some understanding of the relationships which exist among the elements of the system. To do this we have to find out not only that a particular health agency exists, but also what aspects of it are related to the other variables in our analysis. The notion of interdependencies and the ability to specify functional relations is what we mean when we talk about a system.

Although in making resource allocations we may find it an analytical convenience to talk as if there is such an animal as a health system, in fact, the system that we know about is fragmented. We tend to be analyzers rather than synthesizers. This is the result of the fact that we, as health planners, are usually concerned with specific agencies of more or less specified jurisdictions. No single agency, public or private, makes authoritative resource allocations for the totality of the nation's health. Thus, there are many actors who provide inputs into the nation's health decision process.

It would be a misperception to view analytical tools such as cost-effectiveness studies or planning activities such as program-budgeting as centralizing decisionmaking or compelling the creation of the health system qua system. What these tools are and what they are used for is very much a function of the particular organizational context in which they are set. The point is that making resource allocations for the total field of health is not an appropriate description of what analysts do. We are always involved with some chunk or aspect of health as pollution, or the problem of the aging, and with the particular organizations which deal with each problem.

In addition to the fact that many agencies are involved in the field of health, we also cannot expect any single agency head to make all its decisions on everything, for every budgetary cycle. Even if you assume that a particular agency functions like a pyramid with a single policy or decisionmaker at the top (which most agencies do not, in practice), this "omniscient" individual cannot possibly have the time nor capacity to look at everything. The planning staff has to be selective. And one interesting problem is just what criteria they will use in making their selections. Obviously the planner could ask the decisionmaker but sometimes the latter may not know what he wants. Or, if he does, then this just shifts the problem to finding out the selection criteria of the decisionmaker. One could anticipate that the decisionmaker might want to be able to make choices on the highly "visible" programs of the agency. An index of visibility may be a high dollar commitment or high resource type program.

Or the program may be low in the resources assigned to it but still be

very politically visible because of the existence of a small and active constituency or clientele. Another likely criteria would be to present choices concerned with omissions or gaps in the health system. Where are the areas of policy in which the particular health agency ought to be involved? This is not particularly simple to answer in any comprehensive fashion. But when a significant area appears to a planner to have been overlooked, there is a high probability that he will select the area for further attention. In addition to feasibility and omissions, the policy preference of the planner, himself, undoubtedly influences his criteria of selection.

In other words, the line between analyst and decisionmaker is somewhat blurred. The planner or analyst is involved in what Herbert Simon once called uncertainty absorption. He structures the decisions or choice situation by selecting certain problems and alternatives, and planners and users of planning output ought to be aware of this. Because we do have so many people involved in the health field, because we do have to cut our information and time costs, because no single decisionmaker even attempts to consider everything, and because planners themselves tend to also be selective, I sometimes think "comprehensive health planning" may be a contradiction in terms.

The use of planning and analytical tools, however, does make a great deal of sense when we view it within its organizational context. Therefore, it would be useful to discuss how program budgeting interacts with the use of tools like cost-benefit or cost-effectiveness analysis to improve the quality of organizational decisionmaking or resource allocation.

Program budgeting is one management tool which assists in health planning. It has two central features: (1) A framework designed to show the resource allocations which are made to problems, beneficiary groups, organizations; what activities and resource developments are being funded; and what results are anticipated from each; and (2) a multiyear program designed to reflect in these same terms what we are moving toward in the future.

A major aspect of the program budget is the structuring of the health system—of the part which the organization engaged in planning affects. And it should be set in such a fashion that it relates to the broader health system.

The program budget I have described has a structure too complex (in that it has numerous dimensions) to be laid out as a simple laundry list. It is a management information system which can be called upon to tell us what we are doing in each area of interest.

If an area of interest is one of disease control, we must be able to pull together all of the principal actions directed against the particular problem

--from state and regional programs, from projects, from research and training.

If we are interested in a target population, we must be able to pull programs affecting that population out from programs which may be aimed at disease control, financing of services, comprehensive care, and environmental protection.

When we have this capability, we have a framework for better planning. What is then *best* to do will not spring forth as did Athena from the head of Zeus. If all the programs could be related to a single dimensional output on whose virtues and validity we could all agree, the problem of allocating resources would be much simplified. But we know this is not so. Outputs of health programs have numerous dimensions--changes in morbidity, mortality, disability, services, contamination, etc., and these outputs apply to different components of our people.

For this reason, cost-effectiveness analyses cannot tell us the preferred mix of programs to be included in our program budget. Rather, the analyses are aimed at one or another set of problems--air pollution, kidney disease, child health, delivery of services to the poor. They explore the costs and accomplishment of alternative approaches to these narrower problems.

When we have information on costs and benefits we can not only indicate the preferred alternative for each problem, but also have some additional information by which to improve the total allocation. This addition is simply more insight into what we get for what we pay out.

The program budget is a means of noting what we are doing in an organized fashion--with emphasis on objectives and accomplishments--rather than on the organization or line item inputs of conventional budgets. It may serve to give better insight into what we are doing, give us inspiration for useful change, and form a record for program decisions. It is neither a planning process nor a means of discovering better plans. Rather, its categories should serve as useful organization and communication devices for program decision.

The actual process of planning--the ingredients to be reflected in the program budget--are the analyses and the priority decisions. By analyses I refer to work addressed to designing and evaluating strategies for the solution of problems. Generally, analyses would be conducted in the framework of cost-effectiveness comparisons of alternatives, but in many cases the formal approaches are unsuitable, although use of analytical perspectives is helpful.

Formal measurement of costs and outputs may be of little help in cases where we are trying to select preferred methods of affecting the behavior of institutions; for example, hospital behavior, formation of group practices, or consumer education. We may have a measurable idea that

certain behavior would make things better; i.e., resources better utilized, more people taken care of. Our preferred program is to figure what mix of incentives and regulations may induce the desired behavior. While in concept we may believe or hope that the desired effects are thus produced at minimum cost, our program's effects and measures are obscure. For example, if we want hospitals to become community oriented, or to work with other facilities, we may argue and even prove how this would happen, but what we pay them to do is to become concerned--to move in certain directions. How much it costs society and what will happen depends on what institutions respond, how they perceive themselves and their community, etc.

For example, with regard to air pollution, we can study program alternatives which reduce contaminants at minimum cost within an airshed, paying attention to location of emitters, meteorological conditions, and end-stage costs, etc. But the government program is designed to move in this direction by providing incentives or penalties. We are rarely certain of the response.

When we have made our analyses, we have more confidence that we have examined alternatives and investigated the relationship to objectives, that we have weighed the responses of society and the costs to society and to our own resources.

We can now begin the process of developing programs in each area of interest and forming mixes of these. But resources are scarce and we cannot buy all that we want. We must negotiate with other actors in the organization and in the broader social and political environment. Even though we may think we have identified a preferred economic solution, it may have to be modified in order to be implemented by the legislative and administrative process.

The program structure provides a cognitive map, a frame of reference to consider alternatives using cost-benefit analysis. Similarly when we have identified by analysis an alternative that we may have high expectations of being implemented, we will adjust the program structure to reflect this. Thus program budgeting and cost-benefit analysis interact. They are both different parts of the resource allocation process, but they are also intimately related. Problems of resource allocation are an intrinsic part of both of these activities.

The most recent and most comprehensive attempt to apply quantitative methods to the allocation of resources to health problems was introduced in the federal government under the title of the "Planning-Programming-Budgeting System." This approach was first generally used in government by the Department of Defense beginning in the spring of 1961.³ In August of 1965 the President ordered all principal agencies of

government to adopt similar systems. The new Secretary of Health, Education, and Welfare, John Gardner, took this charge seriously, creating a new office to develop and implement the system, that of the Assistant Secretary for Program Coordination (later called Planning and Evaluation).

While the broad goal of the PPB system was to improve decisionmaking, especially budgetary decisions, those concerned had different ideas as to what its specific objectives and procedures ought to be. Some were most concerned to develop better insights into program objectives so that the Secretary and his agency heads and program managers would better understand program interrelationships and complementarities. Others believed the most important step was the delineation of long-range needs and goals. The Bureau of the Budget was asking for detailed 5-year plans and analytical bases for all budget decisions.

Program administrators feared not only that the volume of paperwork would increase, but also that program decisions might be made on improper bases, i.e., on narrow economic or quantitative grounds, and by individuals lacking in an understanding of the programs and the issues at stake. Budget and executive officers in the various agencies saw a potential dilution of their responsibilities and authority.

After a period of experimentation in 1966, a system was developed at HEW which was used in calendar year 1967 as the basis for the fiscal year 1969 budget. It is this system and its problems which I will discuss in the remainder of this paper.

But first, it may be useful to outline some of the difficulties with the earlier budgetary system.

Historically, budgets tend to be formed "from the bottom up." The cycle commenced with a call for a preliminary budget from the Office of the Secretary with no guidelines as to scale or priorities. Agency heads, in turn, passed the call along to their bureaus, and the bureaus to their divisions, etc. It was usually assumed that existing budget levels were an inviolate base, not needing reexamination. The budget process focused on upward changes. The import of proposed legislation was not considered, but was channeled into a separate legislative proposal process, with little interaction between it and the formulation of the budget. The planning horizon was the budget year, with little longer range planning. Appropriation categories are, for the most part, coincident with administrative organizations, and little attention was paid to competing or complementary programs.

The general philosophy of program managers has been that the social problems their programs are addressing are so vast, and the resources allocated to these worthy objectives so miniscule, that their objective in the formation of budgets is the tactical one of increasing these resources. The

effects of programs have not been evaluated in systematic fashion, and alternatives to present approaches remain largely unexplored, especially in the context of budgeting for "existing legislation."

It was not surprising, then, to find that budget proposals usually took the form of asking for increases in almost every program. Bases for these increases were either the ability to grow and satisfy more social needs, or the growing demand for federal grants on the part of potential recipients. Workload increases, annualization of past midyear increases, and price rises also were considered.

Higher echelon reviews usually consisted of concern with whether the rates of growth were feasible and salable, whether the administrators of the programs were capable, and with giving visibility to commitments of the administration as evidenced by recent legislative programs. Questions about interactions or effectiveness of programs were infrequently asked, and more rarely answered. Attention was paid, of course, to congressional desires and the power of constituencies.

Despite its lack of quantitative analysis and long-range strategy, on a tactical level the system had worked quite well. Budgets had increased, doubling about every five years, and scores of new programs had been created by the Congress. But problems loomed on the horizon: the multiplicity of new programs threatened management understanding of what was going on, and it seemed unlikely that the rapid pace of budget increase would be sustained. Problems of imbalance in programs could no longer be resolved by expansion. Choices would have to be made.

Much hope was held by some in developing a system similar to that which appeared to work so well in the Department of Defense. Of course, skeptics were quick to point out that social programs dealt with people, not military equipment, and that quantitative analysis was irrelevant to problems so irrational as protecting and improving the health of the American people.

There were and are difficulties in transferring the Defense approaches, but the nature of the product was only one, and possibly not the most significant. In national security, the federal government has almost total responsibility, and controls most of the resources. In health, federal expenditures accounted for only 16 percent of the total outlays in 1966. Even of these, HEW doesn't operate many of its own programs. Most of the funds go out in the form of grants-in-aid to state and local governments, universities, school districts, hospitals, and nonprofit agencies. Of its fiscal year 1969 budget, 94 percent were in the form of such grants-in-aid. HEW itself operates the Indian Health Program, the Food and Drug Administration, and relatively small intramural research programs. So the problems to be analyzed are largely affected by funds other than federal adminis-

tered by others as well. There are a multiplicity of factors: 7,000 hospitals, 3,000 counties, hundreds of universities, several hundred thousand medical doctors, 50 states, etc.

Compounding the confusion is the all too obvious fact that we know little about the cause and effect relationship in social areas. We don't know how federal programs influence the operating institutions, we don't know the effects of most health services on health status, or what forms of health delivery systems produce better results than others. We lack models, coefficients, and data.

The first step toward improving budgetary decisionmaking in a huge, complicated organization like HEW was to provide comprehensible information about the current allocation of resources and a mechanism for showing how future changes in programs would affect this allocation. As a start one should be able to answer such questions as: What share of the Department's resources is going into health programs? What share is directed toward improving the lives of the poor? What share is directed at assisting old people, and how many people are affected? What share of the Department's budget is devoted to research and is the share growing or declining?

None of these questions can be answered easily by looking at the conventional budget of the Department. Health programs appear in several different agencies. The Public Health Service, the Social and Rehabilitation Service, the Social Security Administration, the Food and Drug Administration, the Administration on Aging and the Office of Education all have significant health programs. Activities such as research and training are often buried in other programs. The groups affected by programs are not identified in a conventional budget; nor are measures of output or accomplishment (classrooms built, patients treated, students supported) readily available.

For these reasons the Department developed a new information system which serves both as a classification system and as a planning tool.⁴ Under this system an individual Department program is classified in a number of different ways—by objective, by the target group in the population at which it is directed, by type of financing (project grants, loans, etc.), by activities used in carrying out the program (construction, training, etc.). The result is a flexible information system which can be used to answer a great many questions quickly and easily and to give a clearer picture of how the Department's dollars are being used.

Along with the dollar information, measures of output of programs in nondollar terms are being developed. At present these outputs are largely limited to measures of initial impact of programs (square feet constructed, children enrolled, persons rehabilitated). Eventually we may be able to

provide measures of more ultimate benefits of programs (cases cured, students graduated, individuals rescued from poverty) which will aid in evaluating the effectiveness of programs in meeting their goals.

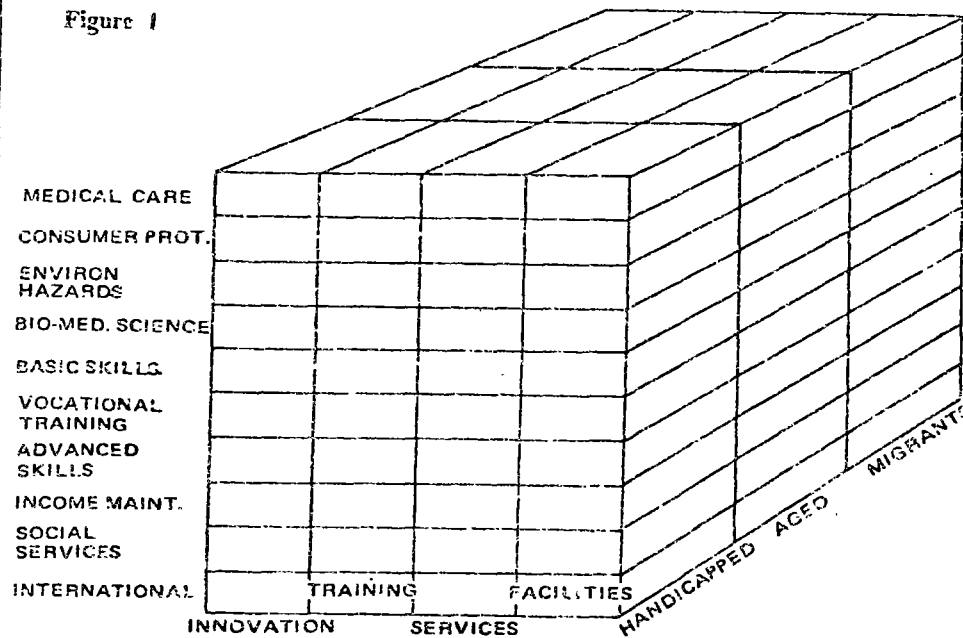
About each of the programs, then, there are a number of questions. What is it for? What does it accomplish? Who is being helped? How is it being carried out? How much does it cost? Who carries it out in the federal government and elsewhere? How is it funded? These questions lead to the development of a program information structure.

Figure 1 gives some insight into the way in which the structure arrays the programs. On the left-hand stub, are the names of possible program objectives or purposes such as the provision of medical care, consumer protection, development of basic skills, income maintenance, social services, and the like. To answer the question of how, programs are subdivided into activities, a sampling of these is listed, innovation, the training of personnel, the delivery of beneficial services, the construction of facilities. For each we are interested also in for whom are you doing it—the target population. So in this three-dimensional diagram we also look at what is being done, for example, for the handicapped, the aged, and migrants.

A particular program, say facilities for medical care of the handicapped, may appear simply as a cell in the structure. And its program manager asked, "I filled out these forms and all I see is I'm in a box and it doesn't help me to decide anything at all." He's probably right.

What we're interested in, of course, is building insight into what takes

Figure 1



place. We can add other activities to this cell which was concerned with building of facilities for the medical care of the handicapped and we can pick up the rest of the medical care activities for the handicapped and get some more understanding as to whether or not they are reasonably in balance for what we are trying to do. We can go further and pick up what we are doing in the area of medical care for the various target groups. Another way of looking at it is to ask the question of what are we doing for a particular target group in all programs.

Illustrated in Table 1, for example, is a way program information can

Table 1

Target Group: Children and Youth—Income Under \$5,000 (Age 0-21)

EDUCATION PROGRAMS

Improving the education of the disadvantaged

Educationally Deprived Children (ESEA Title I)
National Teacher Corps
Educational Opportunity Grants (HEA Title IV-A)
Educational Talent Contracts (HEA Title IV-A)
College Work Study Grants (HEA IV-C)
Vocational Work Study Grants (HEA IV-C)

HEALTH PROGRAMS

Health problem classification

Child Development
Crippled Children
School and Pre-School Children
Maternity and Infant Care
Maternal and Child Health
Comprehensive Maternal and Child Care
Early Case Finding and Treatment

General health care programs

Hospital Care
Physicians
Dental Services
Nurse Services
Home Health Services
Out Patient

SOCIAL SERVICES PROGRAMS

Individual and family services

Day Care
Foster Care
Other Child Welfare Services

Strengthening resources and organization of social services institutions

Juvenile Delinquency

INCOME MAINTENANCE PROGRAMS

Other individual and family support

Aid to Families with Dependent Children

be classified. For a target group—children and youth of low-income families—we can identify these programs—the educational programs, the specific health programs which are aimed at children with respect to child development, crippled children, early case finding and treatment, various social services and money payments, as well. We can begin to look at programs from the point of view of the recipients of the benefits of these programs.

If the first step toward rational decisionmaking is a good information system, the second is a strong capability for analyzing the consequences of alternative courses of action. In the past 2 years HEW has undertaken a series of analytical studies of existing health programs and possible alternatives.

One of the first analytical studies of the PPB era at HEW was a study of disease control programs.⁵ Considerable work had been done during the last ten years in estimating the economic costs of particular diseases. Among the best known of these are Rashi Fein's *Economics of Mental Illness*,⁶ Burton Weisbrod's *Economics of Public Health*⁷ in which he estimated the costs of cancer, tuberculosis, and poliomyelitis, Herbert Klarman's paper on syphilis control programs,⁸ and Dorothy Rice's studies covering the international classification of diseases.⁹ A generation earlier Dublin and Lotka's classic explored the impact of disease and disability and their relation to changes in earning power.¹⁰ The economic implications of disability were, of course, a matter of central interest in the area of workmen's compensation insurance.¹¹ It was not surprising, then, that when systematic quantitative analysis of government programs and policies began to spread from defense to civilian applications, one of the first analytical studies was a study of disease control programs.

The basic concept of the study was a simple one. HEW supports (or could support) a number of categorical disease control programs, whose objectives are to save lives or to prevent disability by controlling specific diseases. The study was an attempt to answer the question: If additional money were to be allocated to disease control programs, which programs would show the highest payoff in terms of lives saved and disability prevented per dollar spent? The study defines "disease" liberally. Motor vehicle accidents were included along with tuberculosis, syphilis, cancer, and arthritis.

I'm talking here not about research, but where a technology exists and the problem is whether to put the same, more, or less federal funds behind these control programs to support activities in hospitals, states, and communities. The question we address is where should we allocate the resources available for this purpose.

Table 2 illustrates the approach to one set of diseases, cancer. We

Table 2
Cancer Control Program: 1968-72

	Uterine-cervix	Breast	Head and neck	Colon-rectum
Grant costs (in thousands)	\$97,750	\$17,750	\$13,250	\$13,300
Number of examinations (in thousands)	9,363	2,280	609	662
Cost per examination	\$10.44	\$7.79	\$21.76	\$20.10
Examinations per case found	87.50	167.30	620.20	496.00
Cancer cases found	107,045	13,628	982	1,334
Cost per case found	\$913	\$1,302	\$13,493	\$9,970
Cancer deaths averted	44,084	2,935	303	288
Cost per death averted	\$2,217	\$6,045	\$43,729	\$46,181

looked at cancer of the uterine cervix, breast, head and neck and colon-rectum. We estimated cost per examination, and the probable number of examinations that would be required for each case found. From this was derived the number of cases that would be found for an expenditure level, and estimates of the cost per case found. An estimate was made of the number of deaths that could be averted by the treatment following the detection of the cancers and then we calculated the cost per death averted which ranged from about \$2,200 in the case of cervical cancer up to \$40,000 to \$45,000 in the case of head and neck and colon-rectum cancer.

On the vertical axis of Figure 2 we have plotted the program costs; this includes the cost of the treatment in addition to the federal detection program. On the horizontal axis estimates of deaths averted are ordered by increase in cost per death averted in each program. Segments of the curve identified to each disease cover the extent of the program which it was estimated could be mounted in the years 1968-72 before running into sharply increasing costs. In concept, the cervical cancer curve is cut off where costs become higher than the breast cancer program, etc. From this analysis one might say that if there is only available \$50 million, cervical cancer should get all the funds. If we have \$115 million, then breast cancer control programs look quite competitive. Head and neck and colon-rectum cancer detection program as major control programs did not look attractive when viewed in this context. The analysts recommended that they concentrate on research and development.

The same kind of analysis was performed for each of the five programs studied (Figure 3). There seemed to be a very high potential payoff for certain educational programs in motor vehicle injury prevention trying to persuade people to use seatbelts, not to walk in front of a car, and so on.

Figure 2

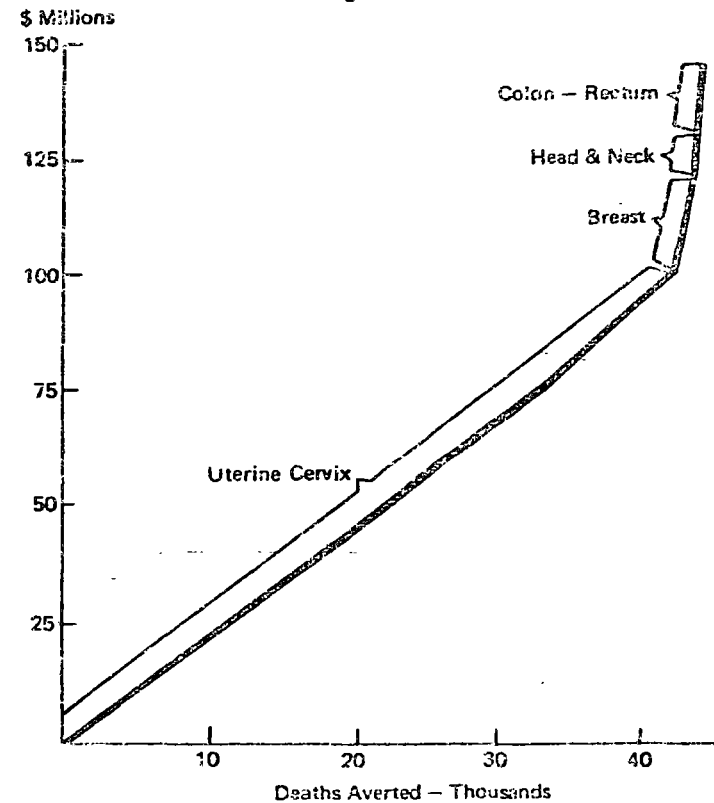
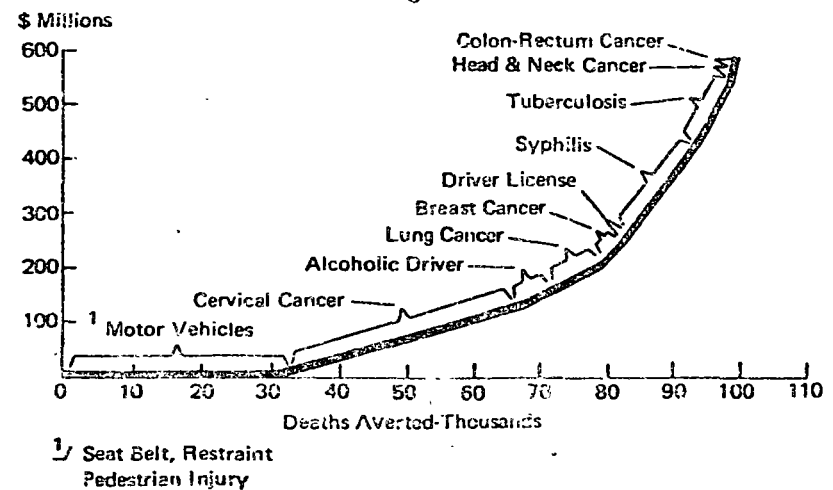
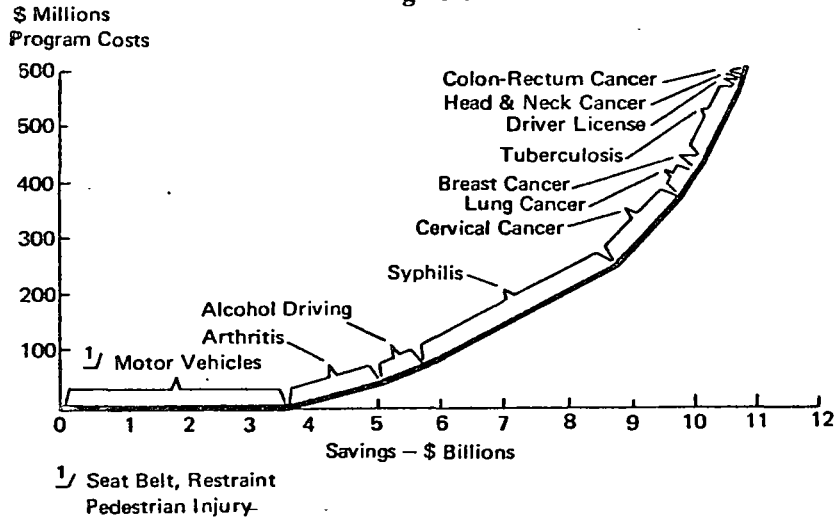


Figure 3



1/ Seat Belt, Restraint Pedestrian Injury

Figure 4



And then as we move up this curve, again ordered by cost of averting death we begin adding the others. This particular criterion, deaths averted, was not completely satisfactory. The number of fatalities attributed to arthritis were negligible. Secondly, there is the question, did it matter who died? Did it matter whether it was a 30-year-old mother or a 40-year-old father of a family or a 75-year-old grandfather? In Figure 4, dollar savings summing avoided medical treatments and a crude estimate of the average (discounted) lifetime earnings saved are plotted as a variable in place of deaths averted. There are two changes in results: cervical cancer and syphilis control programs change places in priority order, and we are able to introduce the arthritis program.

Allocations of resources to programs are developed from such analyses by using information such as this and the preceding charts as an additional insight to give an additional feel for what were relatively high-priority and what were relatively low-priority programs, and then to feed these insights into the decisionmaking process which also considers existing commitments, the political situation, feasible changes in the rates of spending, the ability to get people moving on programs, and so on.

These studies were not greeted with universal acclaim. Criticisms focused on a number of problems. First, with almost no exception the conclusions were based on average relationships. That is, the total benefits were divided by the total costs. There was little evidence of what the actual impact of increasing or decreasing programs by small amounts might be. If we actually believed the average ratios to be valid at the margin, ought we

not put all our funds into the program with the highest benefit-cost or deaths averted per dollar ratios?

Let me illustrate with a hypothetical example how such marginal information might be used to determine the preferred mix of disease control programs. Assume that we can determine, as in the following tables, the number of lives saved by different expenditures on disease A and disease B:

Disease A		Disease B	
Expenditures	Lives saved	Expenditures	Lives saved
\$500,000	360	\$500,000	200
\$1,000,000	465	\$1,000,000	270

If we only knew the effect of spending \$1 million, we might opt for a program where all our money was spent on controlling disease A, as we could save 465 lives instead of 270 if we spent it all on disease B. Similarly, if we only knew the effects of programs of a half million dollars, we would probably prefer A, as we'd save 360 rather than only 200 lives.

But if we knew the results for expenditures of both half a million and 1 million dollars in each program, we would quickly see that spending half our money in each program was better than putting it all in one assuming we have \$1 million available:

Our calculations would be:

Expenditures	Lives saved
\$1,000,000 on A	465
\$1,000,000 on B	270
\$1,000,000 \$500,000 on A \$500,000 on B	360 200
	560

But suppose we had still more discrete data, as in the following tables which give us the effect of each hundred thousand dollars spent on each control program:

Disease A		Disease B	
Expenditures	Lives saved	Expenditures	Lives saved
\$100,000	100	\$100,000	50
\$200,000	180	\$200,000	50
\$300,000	250	\$300,000	135
\$400,000	310	\$400,000	170
\$500,000	360	\$500,000	200
\$600,000	400	\$600,000	225
\$700,000	430	\$700,000	240
\$800,000	450	\$800,000	255
\$900,000	460	\$900,000	265
\$1,000,000	465	\$1,000,000	270

We could then spend the million dollars even more effectively:

<i>Expenditures</i>	<i>Lives saved</i>
\$600,000 on A	400
\$400,000 on B	170
\$1,000,000	570

The lack of marginal data resulted from both a lack of such data for most programs, together with a lack of economic sophistication on the part of the Public Health Service analysts who performed the studies. Despite the theoretical shortcomings, the results were useful when applied with some common sense.

Practical obstacles of existing commitments made it almost impossible to recommend *reductions* in any program. So the decisions dealt with the allocation of modest increments.

In the case of oral and colon-rectum cancers, the average cost per death averted seemed so high that the Department recommended emphasis on research and development, rather than a control program to demonstrate and extend current technology.

In cervical cancer, investigation indicated a sizable number of hospitals in low socioeconomic areas without detection programs which would be willing to establish these if supported by federal funds. The unit costs of increasing the number of hospitals seemed to be the same as that of those already in the program. Shifting the approach to reach out for additional women in the community would increase costs per examination, but not so high as to change the relative position of this program. At most, it raised costs to about those of the breast cancer control program.

Despite the seeming high potential payoff of some of the motor vehicle programs, there was considerable uncertainty about the success. As a consequence, recommendations were for small programs with a large emphasis on evaluation for use in future decisions. The same philosophy was applied to the arthritis program.

What resulted then, was a setting of priorities for additional funding, based on the analytical results, judgment about their reliability, and practical considerations.

A second type of criticism of the analysis described above was concerned with the criteria, especially the calculation of benefits.¹¹ They were considered inadequate in that they paid attention to economic productivity alone, and omitted other considerations. In particular, they were thought to discriminate against the old who might be past employment years, and women whose earnings were relatively low. It was also feared that the logic, if vigorously pursued, would penalize not only health programs for the aged such as the newly launched medicare, but also programs

aimed at assisting the poor whose relative earning power is low by definition.

In actual practice in the programs studied, these concerns were only hypothetical. The programs for cervical and breast cancer looked to be good despite their being for women. As for the poor, most of the programs considered, especially cervical cancer, syphilis, and tuberculosis were aimed primarily at them, and projects were usually located to serve low income residents.

Another type of objection was raised not against the technique of analysis, but against its being done at all. Choices among diseases to be controlled and concern with costs of saving lives can be viewed as contrary to physicians' attitudes in the care of an individual patient. Yet, such decisions are made, analysis or no. Prior decisions on allocations to various health problems rested upon a combination of perception of the magnitude of the problem and the political strength organized to secure funding, e.g., the National Tuberculosis Association.

The disease control cost-benefit analyses suggest that additional considerations are very relevant. Given scarce resources (and if they are not, there is no allocation problem), one ought to estimate the costs of achieving improvements in health. If we can save more lives by applying resources to a small (in numbers affected) problem than a large one, we ought to consider doing so.

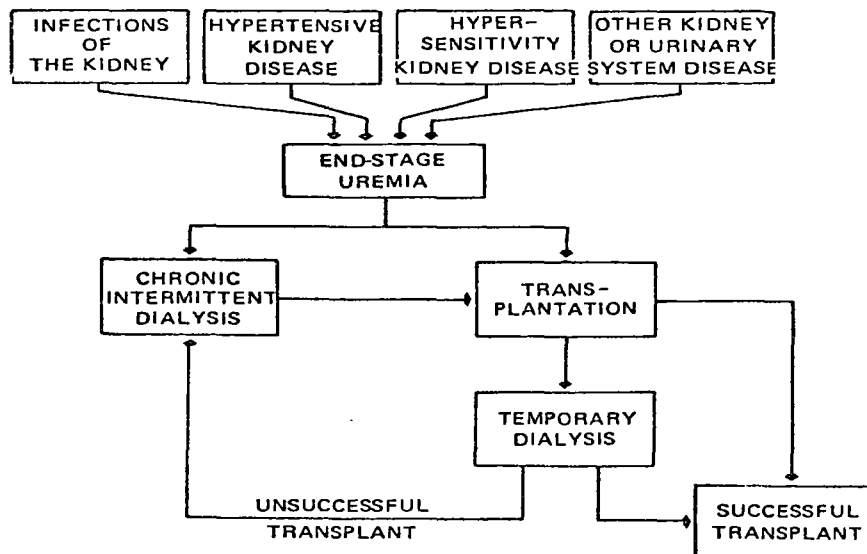
A somewhat separate issue is that of the disease control approach to personal health. This is too large an issue to deal with in this paper, but it may make more sense to develop programs of delivering comprehensive health care, including preventive services, than to maintain categorical disease programs.

The following year a number of additional control studies were performed. One of the most interesting and important was on kidney diseases.¹² This analysis was launched at a time when the public was becoming conscious of a new technique, the artificial kidney (chronic dialysis), which could preserve the life and productivity of individuals who would otherwise die of end-stage kidney disease. About 50,000 persons a year do so die. It is estimated that about 7,500 of these were "suited" by criteria of age, temperament, and the absence of other damaging illnesses for dialysis treatment. The national capacity could handle only about 900; who would remain on intermittent dialysis the rest of their lives. About 90 percent would survive from one year to the next. The operating cost of dialysis treatment in hospitals was estimated at about \$15,000 per patient per year. A home treatment approach might reduce this to about \$5,000 per year.

The federal government was under great pressure to expand the national capacity, which was limited not only by the large money costs, but

Figure 5

SCHEMATIC OF TRANSPLANT AND DIALYSIS PATIENTS



also by shortages of trained personnel and supplies of blood. Indeed, at the same time as this analysis was being performed, an advisory group to the U.S. Bureau of the Budget was studying the problem of end-stage kidney disease. This group came in with the recommendation for a massive national dialysis program.¹³

The HEW program analysis was somewhat more broadly charged, and took a more systems oriented approach. It concerned itself not only about the 7,500 annual candidates for dialysis, but also about the other 40,000 or so who would suffer the end-stage disease, but were unsuited to dialysis. If some way could be found to reduce the numbers falling into the pool of end-stage patients, perhaps a larger number of people could be helped. Figure 5 illustrates the classes of kidney diseases leading to end-stage disease. If these could be better prevented or treated we might keep down the number of patients requiring dialysis or transplantation.

The analysis group, therefore, examined a number of mechanisms or program components. Among these were:

1. Expanded use of existing preventive techniques.
2. Expanded use of existing diagnostic techniques.
3. Expanded use of existing treatments, including chronic dialysis, kidney transplantation and conservative management (drugs, diets, etc.).

4. Laboratory and clinical research to produce new preventive, diagnostic, therapeutic and rehabilitative methods.

5. Increased specialized scientific medical and paramedical training to provide the manpower needed for the research and treatment attack on the kidney disease problem. This also includes continued postgraduate education to train practicing physicians in the use of the latest diagnostic and treatment modalities.

6. Increased public education to alert potential victims of kidney disease to seek medical help at the earliest possible emergence of warning signs.

7. Provision of specialized facilities not currently in existence which are essential for the execution of any of the above programs.

It must be understood from the outset that these program components are interdependent in most cases. For example, preventive techniques exist that need further research to make them maximally effective for broad application. New treatment methods are useless if existing diagnostic techniques are not being applied in medical practice. Because of the present inadequacies of existing treatments, be they dialysis, transplantation, or conservative management, a considerable research effort is called for to increase their efficacy and economy to make them more broadly useful.

Time does not permit a detailed description of the analysis. Costs were estimated for relevant public and private expenditures for the nationwide treatment of kidney disease. The latter includes cost of physician care, hospital care, nursing home care, and other professional services for diagnosis and therapy of kidney diseases, as well as the cost of drugs and net insurance costs. In addition, the cost was estimated for ongoing research efforts, for demonstration, screening and detection programs, for education and training efforts, and for that portion of the cost of construction of hospital and medical facilities which can be prorated to the use of patients with kidney disease.

Based on the substantive information obtained and statistical and economic data collected, estimates were made of the benefits to be gained by different approaches to the solution or amelioration of the overall national kidney disease problem at different expenditure levels of HEW funds.

Several different funding levels were assumed, and estimates were made assuming both the current state-of-art and an expected advanced state-of-art in 1975.

Each program consisted of a hypothetical situation where a specific level of HEW program funding was divided among a rational mix of program components (screening, diagnosis and treatment, research, training, etc.) based on the particular characteristics of the specific disease group involved, and was applied to specifically involved or particularly

vulnerable groups or, as the case may be, to the entire population. The benefits accruable from these programs were estimated and stated in terms of overall reduction of mortality, prevalence, and morbidity due to kidney disease.

Benefit indices were quantified in terms of the reduction in annual mortality, the reduction in annual morbidity (number of sick days per year), and in terms of the disease prevalence in the total population due to the specific type of kidney disorder analyzed, which would accrue thanks to the impact of the various program components—such as research advances, disease prevention and improved treatment.

The analysis group avoided estimates of the impact on economic productivity in their results, although such calculations have been made independently.²⁴

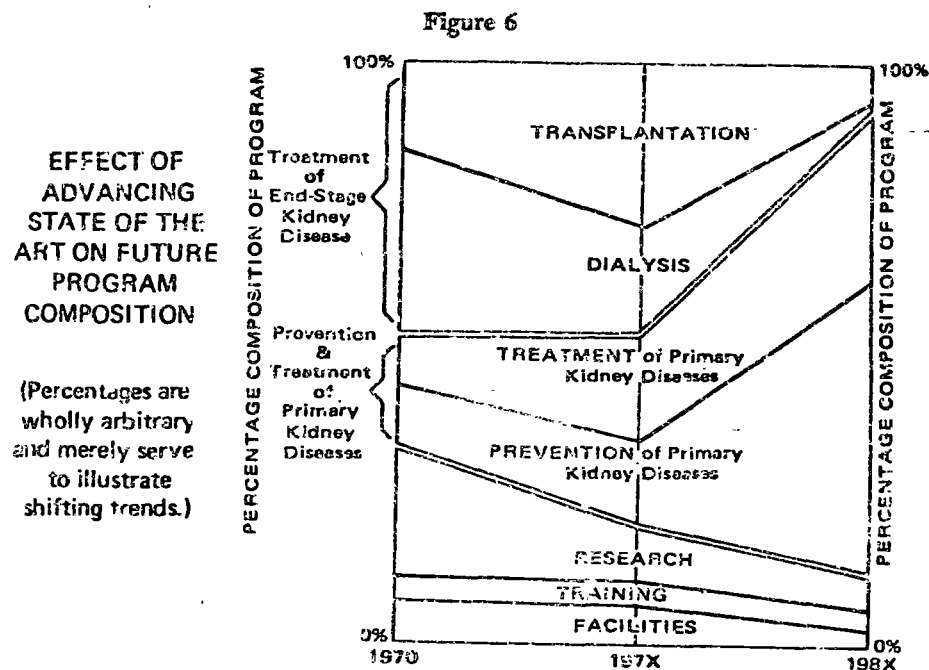
The HEW study concluded that concentration in future programs merely on the treatment of end-stage kidney disease is not likely to solve the problem of annual deaths due to irreversible uremia unless unlimited funds are available for an indefinite continuation of such a program. Thus, steps must be taken to decrease the number of people who enter the irreversible fatal stage each year by a systematic prevention or treatment of the primary kidney diseases which initiate their progressive downhill course. It is obvious from the analyses in the three major kidney disease groups—infectious, hypersensitive, and hypertensive—that the otherwise inevitable annual reservoir of patients with irreversible kidney failure can be diminished considerably through vigorous programs activated to deal with each of these groups. The application of relatively minor funds in the group of infectious kidney diseases to stimulate systematic screening of high-risk groups followed by diagnosis and treatment, even within the current state-of-the-art and without awaiting additional advances due to ongoing or future research, can bring about a significant future reduction in the number of end-stage patients. Continued and expanded research activities will be necessary to increase the percentage of patients ultimately benefited by this approach.

In the area of hypersensitivity diseases involving the kidney there appears to be no promising mode of attack in sight except for the launching of a systematic research effort intended to increase our knowledge of the disease mechanisms involved. Here, the sooner this effort is started the greater the likelihood of a reduction of the number of end-stage victims in the near future. The promise for benefits to be derived from this type of research effort is such that it should not be postponed—particularly since any new effective treatment or prevention modality would produce major benefits in the entire field of hypersensitivity diseases, such as rheumatic heart disease, rheumatoid arthritis, and others.

In the group of hypertensive diseases of the kidney an immediate start, within the current state-of-the-art, of screening, diagnostic and treatment can begin to diminish the number of patients who will eventually require end-stage treatment because of their progressive renal involvement. Simultaneous research efforts are likely to make this particular portion of the overall program more effective as time goes by, in the same fashion in which the new antihypertensive drugs developed during the last 10 years have succeeded in decreasing by about 50 percent the mortality due to malignant hypertension.

Thus, a meaningful federal program to reduce the annual mortality due to kidney disease and aimed at a general reduction of the prevalence of the various kidney diseases must perforce be a multifactorial one which brings into play all of the program components—research, prevention, treatment and education—available in our arsenal. An optimally proportioned mix of these program components must be present to yield maximum benefits in overall number of lives saved. This last concept includes not only deaths avoided today but deaths to be prevented in the years to come. Needless to say, such a total program, to be meaningful and productive, must be aimed at all three major primary kidney diseases, as well as at end-stage kidney failure.

Figure 6 shows a hypothetical program mix that might come from such conclusions. Note the early emphasis on research to affect the state-



of-the-art, and the growth in allocations to the prevention and treatment of primary kidney diseases as relative allocations to dialysis are diminished.

In 1966, HEW also did a rather different type of analysis in the field of health: a study of alternative ways of improving the health of children.¹⁵ The President had focused public attention on the problem of child health and expressed a desire to introduce new legislation in this field. The HEW study was an attempt to assess the state of health of the nation's children (to what extent the children have correctable health problems and in what groups in the population were the problems concentrated) and to estimate the cost and effectiveness of various kinds of programs to improve the health of children.

This study proved more difficult than anticipated. Hard information on the state of health of children is hard to come by. Surprisingly, estimates of improvement in health attributable to medical care are almost nonexistent. It is not easy to demonstrate statistically that children who see doctors regularly are healthier than children who do not.

In regard to maternal and child care programs the stated goal was to make needed maternal and child health services available and accessible to all, in particular to all expectant mothers and children in health depressed areas. Health depressed areas could be characterized as areas with excessive infant mortality rates. There is no universal index of good or bad health among children. Two measurable areas were selected—mortality and the prevalence of chronic handicapping conditions. Over a dozen possible programs aimed at reducing these were examined. In Table 3, three selected programs addressed to the problem of coverage of maternal and child health are illustrated, two of them comprehensive programs of care to expectant mothers and children. This table shows the annual effects of spending the same amount of money, \$10 million a year, in different ways. The analysts examined comprehensive care programs covering up to age eighteen and up to age five with estimates based on the best assumptions derived from the literature and advisers on the probabilities of prevention of maternal deaths, premature deaths, infant deaths, and mental retardation, and handicapping conditions prevented or corrected by age eighteen. They also looked at a program of early case finding and assured treatment which focused on children at ages four and again every other year until they were nine. Expending the same amounts, where you put the money yields different results. With respect to reduction of infant mortality, several other programs had higher payoffs than these. For example, a program of intensive care units for high-risk newborns was estimated to reduce annually 367 deaths if we put all our money in that basket—it would cost about \$27 thousand per infant death prevented. The programs shown cost about four times that, but they do other good things too.

The HEW analysts also looked at programs with a given amount of

Table 3
Yearly Effects per \$10,000,000 Expended in Health Depressed Areas

	Comprehensive programs to age—		Case finding of treatment 0, 1, 3, 5, 7, 9
	18	5	
Maternal deaths prevented	1.6	3	
Premature births prevented	100–250	200–485	
Infant deaths prevented	40–60	85–120	
Mental retardation prevented	5–7	7–14	
Handicaps prevented or corrected by age 18:			
Vision problems:			
All	350	195	3,470
Amblyopia	60	119	1,140
Hearing loss:			
All	90	70	7,290
Binaural	6	5	60
Other physical handicaps	200	63	1,470

money (Table 4) aimed at reducing the number of children who will have decayed and unfilled teeth by age 18. Fluoridation programs in communities which do not possess this, will, for the same amount of money, give us close to 300,000 fewer children in this condition, compared to 18,000 or 44,000 fewer in other programs noted. Fluoridation looks like a very attractive program. It was so attractive that it could be inferred that a program as cheap as this is not being inhibited by lack of financial support by the federal government; there are other factors at work.

One other program, additional funds on family planning, looked like a very good way not only to reduce the number of infant deaths, but also the rate of infant mortality in high-risk communities.

Despite the information difficulties, several conclusions emerged clearly from the study. Two of these conclusions resulted in new legislation being requested from Congress. First, it seemed clear that a program of early casefindings and treatment of handicapping conditions would have

Table 4
Reduction in Number of 18-year-olds with Decayed and Unfilled Teeth
per \$10,000,000 Expended in Health Depressed Areas

Fluoridation	294,000
Comprehensive dental care without fluoridation	18,000
Comprehensive dental care with fluoridation	44,000

considerable payoff. It was also clear that if the large number of children who do not now have access to good medical care were to be provided with pediatric services, an acute shortage of doctors would be precipitated. Ways have to be found to use medical manpower more efficiently. The Social Security Amendments of 1967 include provision for programs of early casefinding and treatment of defects and chronic conditions in children, and for research and demonstration programs in the training and use of physician assistants.

These condensed discussions of some of HEW's applications of cost-benefit analysis to disease-control programs illustrate both the usefulness and limitations of such analyses for decisionmaking.¹⁸ Issues are sharpened, and quantitative estimates are developed to reduce the decisionmakers' uncertainty about costs and effects. Nevertheless, the multiplicity of dimensions of output, and their basic incommensurabilities both with costs and the outputs of other claimants for public expenditure, still requires the use of value judgments and political consensus.

Prior to the introduction of the planning-programming-and-budgeting system, long-range planning in HEW was sporadic and generally not Departmentwide. No mechanisms existed for focusing attention on longer range objectives, deciding which types of programs should be given highest priority over the next several years, and then drawing up a budget consistent with those objectives and priorities.

In 1967 and 1968, the Department experimented with a new procedure for making budget decisions in the context of a long-range plan.

The procedure involves several steps. First, very early in the calendar year the planning and evaluation staff drew up a list of significant issues which would have to be addressed in formulating the budget and legislative program. This list of issues was discussed within the Office of the Secretary, with the operating agencies, and with the Bureau of the Budget. Decisions were made as to which of these issues seemed likely to be illuminated by analytical work, and studies of many of them were initiated.

The second step in 1967 was the development of a set of tentative Departmental objectives for 1973. The operating agencies were asked to formulate their objectives for 1973 in program terms. The Secretary gave each agency two ceilings for 1973—a "low" which implied continued budget stringency, and a "high" which implied somewhat greater availability of funds. Each of them was asked to answer the question: How would you allocate these sums in 1973 among existing programs or new programs which could be developed between now and then?

The agencies took this assignment seriously, despite the difficulties of forcing busy administrators to take the time away from daily crises to think five years into the future. The 1973 objectives which the agencies sent back

to the Secretary reflected considerable thought and effort on the part of agency heads and their bureau chiefs.

The agency 1973 objectives were reviewed by the Secretary and his staff and a set of Departmental objectives for 1973 was formulated.

In both the agency plans and those of the Department, the tentative results of analyses were considered. For example, the study of the delivery of health services to the poor made recommendations which involved policy decisions with respect to the coverage of the medicaid program, the training of physician assistants and family health advisers, reorganization of delivery systems (especially those dealing with ambulatory care), hospital-community links, and comprehensive care versus categorical control programs. The Departmental objectives, reflecting the Secretary's judgment about priorities for 1973, were then transmitted back to the operating agencies as guidance for formulating their fiscal year 1969 budget submissions and fiscal year 1969-73 suggested program and financial plan, and legislative program. These were reviewed for conformance to Department objectives, and a Department program and financial plan (1969-73), fiscal year 1969 budget and framework for legislative proposals were then developed and transmitted to the Bureau of the Budget.

The HEW system has proven of some use. A better understanding of the health programs of the Department and their interrelationships have been achieved. This was true not only at the Office of the Secretary, but also at the Bureau of the Budget. The primitive analyses have assisted the dialog on budget and legislative programs. The 5-year planning system has enabled the Secretary and his staff to control the processes somewhat more by testing budget and legislative proposals against the Secretary's program and financial plan.

Problems, of course, remain. One of the greatest is inadequate program evaluation.¹⁹ Very little is really known of the impact of programs. Partly this is because of the complications in sorting out federal funding impacts from all the others. Partly it is because health effects take considerable time to become evident. But a large measure of the reason is that it has not been a matter of high interest to program managers. This is beginning to change. New health legislation increasingly contains authorization of a portion of the funds for evaluation. For example, Public Law 90-174, the Partnership for Health amendments of 1967, contains wording affecting formula grants to the States, project grants, and training and demonstration grants in the following manner:

... such portion of the appropriations for grants under this subsection as the Secretary may determine, but not exceeding 1 percentum thereof, shall be available to the Secretary for evaluation (directly or by grants or contracts) of the program authorized by this subsection.

Under the direction of the Office of the Secretary, agencies are developing evaluation plans which may lead to significant gains in information for policy decisions.

NOTES

¹ Public Law 89-749 establishes planning requirements for State Health Planning Councils, State Health Planning Agencies, Areawide Health Planning Councils, and State Health Authorities and/or State Mental Health Authorities. Public Law 89-239 supports planning by Regional Medical Programs and Regional Advisory Groups. Public Law 88-443 required planning activities by State Hill-Burton Agencies and State Advisory Councils. Public Law 88-164, title II, provided grants to designated State agencies and State Advisory Councils for planning community mental health centers. Public Law 88-164, title I, part C did the same for planning mental retardation facilities. Public Law 89-272, title II provides money to designated state or interstate agencies for planning solid waste disposal activities. Public Law 90-148 provides planning funds to Air Pollution Control Agencies and to Interstate Air Quality Agencies or Commissions. The Social Security Act, as amended, title V, parts 1 and 2 provides for the state plans by State Health Agencies, State Crippled Children's Agencies or State Health Departments of programs for maternal and child health. Title XIX of the act requires state plans for Medicaid. The Vocational Rehabilitation Act, as amended, section 4(a)(2)(B) provides for Comprehensive Statewide Planning for Vocational Rehabilitation Services.

² For some interesting discussion on the interactions between systems analysis and politics see:

Charles Schultze, *The Politics and Economics of Public Spending*, The Brookings Institution, 1969; William N. Capron, "The Impact of Analysis on Bargaining in Government," delivered to a meeting of the American Political Science Association, Sept. 1966; James R. Schlesinger, *Systems Analysis and the Political Process*, the RAND Corp., June 1967; Ralph Sanders, "Systems Analysis and the Political Process," *Perspectives in Defense Management*, Dec. 1968; and Aaron Wildavsky, "The Political Economy of Efficiency: Cost-Benefit Analysis, Systems Analysis and Program Budgeting," *Public Administration Review*, Dec. 1966.

Specifically in the health area, see, for example:

Henrik L. Blum and Alvin R. Leonard, *Public Administration—A Public Health Viewpoint*, The Macmillan Company, 1963; Ralph W. Conant, *The Politics of Community Health*, report of the Community Action Studies project, National Commission on Community Health Services, Public Affairs Press, 1968; J. Enoch Powell, *A New Look at Medicine and Politics*, Pitman Medical Publishing Co., 1966; and Eugene Feingold, *Medicare Policy and Politics*, Chandler Publishing Co., 1966.

³ For descriptions of the Department of Defense experience see:

Charles J. Hitch, *Decisionmaking for Defense*, University of California Press, 1965, and Stephen Enke, editor, *Defense Management*, Prentice-Hall, 1967.

⁴ U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary (planning and evaluation), *Planning-Programming-Budgeting: Guidance for Program and Financial Plan*, revised February 1968.

⁵ U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary for Program Coordination: *Motor Vehicle Injury Prevention Program*,

548 Policy Analysis in Federal Programs

August 1966; *Arthritis*, Sept. 1966; *Selected Disease Control Programs*, September 1966; and *Cancer*, October 1966.

⁶ Rashi Fein, *Economics of Mental Illness*, Basic Books, Inc., New York, 1958. For later study using a new conceptual framework resulting in cost estimates almost 10 times higher see Ronald Conley, Margaret Cromwell, and Mildred Arrill. "An Approach to Measuring the Cost of Mental Illness," *American Journal of Psychiatry*, December 1967, pp. 63-70.

⁷ Burton A. Weisbrod, *Economics of Public Health: Measuring the Economic Impact of Diseases*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 1961.

⁸ Herbert E. Klarman, "Syphilis Control Programs," *Measuring Benefits of Government Investments*, edited by Robert Dorfman, The Brookings Institution, Washington, D.C., 1965, pp. 367-410.

⁹ Dorothy P. Rice, *Estimating the Cost of Illness*, Public Health Service Publication 947-6, Washington, D.C., May 1966; Jacob Cohen, "Routine Morbidity Statistics as a Tool for Defining Public Health Priorities," *Israel Journal of Medical Sciences*, May 1965, pp. 457-460, estimated the weighted impact of 25 mass diseases on deaths, loss of life years under 65, hospitalization, days of hospitalization and cases in Workers' Sick Fund.

¹⁰ Louis I. Dublin and Alfred J. Latka, *The Money Value of a Man*, Ronald Press, New York, 1930.

¹¹ See, for example, Earl F. Cheit, *Inquiry and Recovery in the Course of Employment*, John Wiley, New York and London, 1961.

¹² For discussion of some of these issues see Dorothy P. Rice, "Measurement and Application of Illness Costs," *Public Health Reports*, February 1969, pp. 95-101; T. C. Schelling, "The Life You Save May Be Your Own," *Problems in Public Expenditure Analysis*, edited by Samuel B. Chase, Jr., The Brookings Institution, 1968, pp. 127-176; and Pan American Health Organization, *Health Planning: Problems of Concept and Method*, Scientific Publication No. 111, April 1965, esp. pp. 4-6.

¹³ U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary (Planning and Evaluation), *Kidney Disease*, December 1967.

¹⁴ The Bureau of the Budget convened an expert Committee on Chronic Kidney Disease. See *Report* by this committee, Carl W. Gottschalk, chairman, Washington, September 1967. Herbert E. Klarman, John O'S. Francis, and Gerald D. Rosenthal, "Cost Effectiveness Analysis Applied to the Treatment of Chronic Renal Disease," *Medical Care*, vol. VI, No. 1, January-February 1968, pp. 48-54, analyzed the committee's data to explore what is the best mix of center dialysis, home dialysis, and kidney transplantations. The authors restricted their beneficiaries to those in end-stage kidney disease, and concluded that transplantation is economically the most effective way to increase life expectancy of persons with chronic kidney disease, although they recognize the factors that constrain the expansion of transplantation capability.

¹⁵ Jerome B. Hallan and Benjamin S. H. Harris, III, "The Economic Cost of End-Stage Uremia," *Inquiry*, volume V, No. 4, December 1968, pp. 20-25, and J. B. Hallan, B. S. H. Harris, III, and A. V. Alhadeff, *The Economic Costs of Kidney Disease*, Research Triangle Institute, North Carolina, 1967.

¹⁶ U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary for Program Coordination, *Maternal and Child Health Care Programs*, October 1966.

¹⁷ Other studies included U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, Office of the Assistant Secretary (Planning and Evaluation): *Delivery of Health Services for the Poor*, December 1967; *An Economic Analysis of the Control of Sulphur Oxides Air Pollution*, December 1967; *Nursing Manpower Programs*, March 1968; Public Health Service, Bureau of Health Services, *Recommendations and Summary: Program Analysis of Health Care Facilities*.

¹⁸ A useful reference to the existing literature on evaluation is Willy De Dymdt and Karen B. Ross, *Evaluation of Health Programs—An Annotated Bibliography*, Systems Research Project, University of Minnesota, comment series No 9).

COST-BENEFIT ANALYSIS

AN INFORMAL INTRODUCTION

BY

E. J. MISHAN

*The London School of Economics and Political Science
and The University of Maryland*

REVISED NEW EDITION

London

GEORGE ALLEN & UNWIN LTD

RUSKIN HOUSE MUSEUM STREET

Chapter 3

DISEASE CONTROL

1 Investment in human capital is one of the most popular themes to be found in the postwar economic literature. Such investment is not confined to higher education or vocational training, however. It is extended to housing, hospitals, public health and amenity, all of which can be conceived as contributing to the efficiency of men's productive capacities. Measurability of any of a number of complementary types of investment poses problems, in particular when it is recognized that the benefits to be reaped by the community are not only in the form of higher outputs but also in the form of a direct improvement of health and spirits. It is the task of the economist to bring such benefits into the calculus along with the more mundane, albeit more measurable, benefits.

Proceeding from investment in human productivity to investment in health, we can narrow our sights further to the prevention of certain diseases. In this chapter we shall indicate the methods used by Klarman (1965) in calculating the potential benefits of syphilis eradication in the United States.

2 The interest in syphilis springs partly from reports that it is rising again, after its dramatic postwar decline, and partly from its being a highly communicable disease, one, moreover, carrying a social stigma.

The benefits of a particular disease-control programme are simply those current costs of the disease which are averted by the programme, such benefits being compared with the resource-costs of the programme. These benefits, or averted costs, can be split into three broad categories: (1) expenditures on medical care, (2) losses of current production, and (3) the pain and discomforts accompanying, and following, the disease.

(1) The expenditures on medical care include the costs of the services of physicians and other personnel, drugs, hospital facilities

DISEASE CONTROL

and equipment. (2) The losses of current production—at the stage where complications set in—are reckoned (a) as the loss of gross earnings,¹ the result of a loss of working hours in order to have diagnosis and treatment, and (b) a reduction in gross earnings in consequence of the social stigma which renders a person less employable—at any rate less mobile—once the fact of his having suffered from syphilis is entered into his records. (3) The pain and discomforts associated with the disease, like social stigmas, are not easy to evaluate, and the procedure was clearly arbitrary.

3 The public health literature in 1962 stated that 1.2 million Americans had syphilis, that 60,000 acquired it every year, and that 120,000 cases were reported annually, most of them years after the onset of the infection. For the calculation of benefits from eradicating the disease, it is the latter figure—the numbers reporting in the year 1962—that is used.

An estimate of the three sorts of cost mentioned were made for each of five groups of cases: (a) cases reported in the infectious (primary or secondary) stages (about 20,000); (b) cases treated in the infectious (primary and secondary) stages but not reported (33,400); (c) cases treated in the early latent stage (17,000); (d) cases treated in the late latent stage (48,200); and (e) cases treated in the late complications stage (about 800). Each of these groups was broken down into Male and Female, and White and Non-White, and for each of these sub-groups an average figure for all the three items of cost was estimated. Finally, a 4 per cent per annum discount rate was employed in order to reduce to a present, 1962, value all the future expenditures on medical treatment and associated losses of output, allowance being made both for the expected annual rise in physician's fees and for increased annual productivity.

So calculated, the total costs incurred by all these cases in 1962 were estimated at \$117.5 million. The value of the benefits accruing from the total eradication of the disease would, therefore, be equal to this annual sum realized in perpetuity. Employing a 4 per cent discount rate this future stream of benefits has a present capital value of \$2.95 billion. If, in addition, the existing control and surveillance

¹ The earnings of housewives were calculated by reference to the earnings of domestic servants.

COST-BENEFIT ANALYSIS

mechanisms were abandoned, an extra \$6 million per annum would be saved, yielding a present value at 4 per cent of \$150 million. The total present value of eradicating the disease can, therefore, be put at \$3.1 billion.

More than 40 per cent of this, \$1.3 billion, however, was attributed to 'stigma' which was, somewhat arbitrarily, evaluated at 1 per cent or 0.5 per cent of earnings subsequent to the discovery of syphilis. Roughly one-third of the total was due to averting future losses of output, and one-sixth to the saving of future medical expenses.

Although the approach to the benefit side is interesting, and the items are broken down as to make rough calculations possible, the study was not perhaps an ideal model of cost-benefit analysis. Moreover, as was pointed out at the time,² no attempt was made to estimate the benefits flowing from a defined control programme which could achieve a reduction of the incidence of the disease to some specified level.

² By Selma Mushkin in commenting on Klarman's paper (1965).

Cost—Benefit Analysis

THE PRACTICAL APPLICATION OF COST-BENEFIT ANALYSIS TO R & D INVESTMENT DECISIONS

R.L.R. Nicholson

1. INTRODUCTION

Research and Development are, in many countries, major activities for both Governments and Industries when measured in terms of cost; table I shows both types of spend for a number of industrial countries. The pursuit of R & D by industrial companies at their own expense can be regarded as a particular form of investment subject to analysis which, while it may prove difficult in some respects, has at least clear ground rules. The costs are those to the company and the benefits are likewise. The wider implications of any resulting innovation are of interest to the company only insofar as they affect its markets and prestige and hence its profits with or without growth.

As distinct from financial Investment Analysis as applied by companies, Cost-Benefit

A Symposium held in The Hague in July, 1969
under the aegis of the NATO Scientific Affairs Committee

Table I - EXPENDITURE ON R & D BY SOME INDUSTRIAL COUNTRIES (1963/64)

	Gross National Expenditure on Research and Development (Million U.S. Dollars)	Percentage of Gross National Product at Market Price	Government Funds as Percentage of Total	Proportion of all Research Funded by Government except Space and Defence Research
United States of America	21,035.0	3.3	63.8	28.7
United Kingdom	2,159.9	2.3	56.6	37.9
Germany	1,436.3	1.4	40.4	36.3
France	1,299.1	1.6	63.3	48.7
Japan	892.0	1.4	27.8	27.8
Canada	425.1	1.1	54.5	45.8
Netherlands	330.4	1.9	40.0	38.0

Edited by M.G. Kendall, Sc.D.
Chairman, Scientific Control Systems Ltd.

Source: A Study of Resources devoted to R & D in O.E.C.D. Member Countries
in 1963/64, O.E.C.D., Paris, 1967



Analysis as usually described and understood* appears to be a tool applicable to the selection of many R & D programmes funded by governments; for much R & D leads to innovation which clearly has both long term and wide effects, obscure though these may be.

Yet there is but little published case study material [2] [3] and reviewers of cost-benefit analysis seem agreed that progress in application to R & D has been slow. [4] [5] among them the uncertainty of estimates of costs, the complex nature, multiplicity and diffusion of the benefits [1], the lack of knowledge of the future, and so on. Perhaps, too, attempts made to relate benefits directly to the scientific outcome of basic research have been premature. These factors, together with the difficulties in the macroeconomic correlation of levels of R & D expenditure with economic growth [6], may lead us to suspect that progress is slow because the goal is impossible. But "R & D" is a tag describing a wide spectrum of activity within which there is much objective-oriented Government sponsored R & D where the relationship of the work to the objectives can be seen with sufficient clarity to merit attempts at analysis.

This paper presents comments on the problems of analysis as seen by an organisation concerned with advising on the selection of R & D programmes in such areas. We will exclude the heavy investment in research, mostly basic in nature, as part of the education system; the criteria for such expenditure are bound up with total objectives of the educational system. We will exclude other basic research which may have impacts on society remote in time and place from the location of the work and for which the choice of funding will normally be on other criteria than the microeconomics of cost-benefit analysis.

It is also proposed to exclude defence research. The objectives are not readily expressed in economic terms so that it is usual to set them as operational requirements. Appraisal then uses the techniques of cost-effectiveness.

2. GOVERNMENT FINANCED APPLIED R & D

There remain a number of areas where Governments fund applied research, either in industrial companies, in universities or in government laboratories. For example:

- (i) where the public sector are major consumers and some stimulus or control is considered necessary on R & D time scales, e.g. development of cheap nuclear power, desalinated water, educational techniques,
- (ii) where the end-objectives are primarily welfare or amenity, e.g. fire protection, air and water pollution;
- (iii) where government has a central co-ordinating role, e.g. specification of standards, road and other transport research, safety;

* As, for example, by Prest and Turvey [1], as "a practical way of assessing the desirability of projects where it is important to take a long view (in the sense of looking at repercussions in the further, as well as the nearer future) and a wide view (in the sense of allowing for side effects of many kinds on many persons, industries, regions etc.) i.e. it implies the enumeration and evaluation of all the relevant costs and benefits".

- (iv) where innovation could affect a wide sector of industry in the short or long term but where there is currently insufficient incentive, interest or resources to do the work in any one sector or company, e.g. marine or underwater technology, support to research associations;
- (v) where work in the field of defence, or of other categories (i)-(iv) above has led to an aggregation of scientific capability and facilities which can rapidly be deployed for different social and industrial objectives and where such deployment offers advantages in cost, timing and effectiveness over other means to reach the objectives, e.g. work on desalination of water in U.S. and U.K., use of engine testing facilities, pursuit of "spin-off";
- (vi) through indirect support of privately financed R & D, e.g. via tax concessions on capital write-off (this class of support perhaps is less likely to be mission oriented than the others above).

Clearly such work leads to a wide spread of benefits and beneficiaries; but much of it is such that the vital links between the R & D and the attainment of benefits can be established. Such links are necessary if cost-benefit analysis is to be of use in decisions on the choice of programmes. Macroeconomic approaches such as the use of Input-Output Matrices to find residual or technical coefficients do not yet constitute an adequate basis for R & D project selection.

3. PROBLEMS IN R & D PROGRAMME ANALYSIS

There are many problems in applying cost-benefit analysis to R & D projects or programmes which are doubtless common to other applications; but there are some features of R & D which pose problems of analysis different in the degree of their severity from those encountered in other evaluations. In this section I will outline some of these and suggest how they may often be tackled.

3.1 Uncertainty

The first major uncertainty arises because we do not know whether the objectives will be achieved by the proposed programme of research and development. This is not just a question of the reliability of estimates of cost or of time to completion (though these themselves are uncertain features). Our existing knowledge of the laws of science, our experience of similar situations and of past achievements—all these may be used to set down objectives for applied research which are believed to some degree to be attainable. Such objectives will be expressed in operational terms but will be subject to implicit or explicit economic constraints. The uncertainty here is whether this "constrained" objective can be attained regardless of input of research resources. However brilliant our research teams, we do not yet know whether reverse osmosis can be applied to make fresh water from the sea at costs under, say, \$1 per 1,000 gallons; or whether processes can be found to make textiles permanently non-flammable at a cost of less than 3d. per pound.

Clearly we need to qualify the outcome of analysis to take account of such uncertainties and this is normally done by estimates of "probabilities". In this case we have to apply subjective estimates made by those best qualified by knowledge and experience, i.e. by the experts in the field. Since the estimate is subjective, we

attempt to improve them by widening the number of experts consulted to obtain a consensus of judgments [7]. In practice one tries to get subjective views on the distribution of probabilities, their limits and the shape of the distributive curve.

It may be possible to improve the estimates by a breakdown of the R & D process since we are seldom dealing with a single stage development. For example, research aimed at finding materials suitable for engine components which have to operate at high temperature may be concentrated on metal alloys, coated metals, ceramics or composites. We have to estimate the likelihood that any material will:

- (i) resist the corrosion of gases at high temperature, and
- (ii) exhibit the necessary physical properties, and
- (iii) be formable without losing its properties.

It may be easier for the expert to set the bracket of his estimates by considering each sub-objective separately.

It may be that the R & D programme will achieve partial attainment of the objective. It is unlikely that the effect of this on the benefit analysis can be calculated in a simple proportional manner. The market and benefits for, say, a desalination process will be sensitive to the costs of the product water and there is high elasticity of demand; the penetration of new materials into markets will be sensitive to the properties of the materials (i.e. their utility) as well as their price. The effects of partial attainment of objectives call for a separate analysis.

Uncertainties in timing and cost, as mentioned above, are factors of concern. It is not intended to discuss here the methods of R & D cost estimating and programme planning. The sensitivity of the analysis to variations in the cost of R & D can usually be shown. The effects of variation in timing are more complex. Apart from corrections in discounted cash values, the interactions of the R & D with the benefits must be examined for changes in the markets, the effect of competing technologies, and so on. There is, of course, some trade-off possible between timing and cost, i.e. to ensure a higher likelihood of attaining the objectives by a given date through increasing the input of research resources; but such trade-off is often limited by the needs of the objectives which call for establishing the life of the product, e.g. the fatigue properties of aircraft or engine components, the behaviour of nuclear fuel under reactor conditions, performance under stress and thermal cycling conditions, the life of surface finishes in various environments, etc. While engineers and scientists give great attention to techniques for "accelerating" tests and to the optimal planning of test procedures, there are often cases where a sequence of lengthy tests is unavoidable because of the interplay of technological properties within systems. The costs of testing—involving expensive facilities such as wind tunnels, engine test beds, furnaces, rigs, materials testing reactors, laboratories for chemical or biological assay—often form a large proportion of the cost of R & D projects and the programme analyst must pay attention to such features to identify the scale or potential variations in cost and timing.

Uncertainties in assessing the levels and values of benefits are perhaps common to

many cost-benefit analyses. But R & D has one particular additional aspect in that attainment of the scientific or technological objectives may not be followed by exploitation—the problem of "coupling" or "diffusion". There is an array of obstacles which can prevent the attainment of benefits from R & D which is, in the scientists' or engineers' eyes, successful. While policies for technology transfer [8] and steps to improve the mechanisms of coupling [9] have been outlined and while practices are improving in this matter, there is no panacea for all the potential failures in transfer.

This problem is particularly acute for government funded research*. It has become necessary and customary to qualify benefits by some factor to allow for such uncertainty; as I hope to show later the process of cost-benefit analysis can hopefully shed some light on the potential obstacles to particular innovations.

Since the prime objective of the analysis is to aid decision between options, quantified judgments on these uncertainties have to be expressed in the form of subjective probability distributions to be combined with the values of costs and benefits. It is not proposed to discuss here the methods of combining subjective probability distributions which are dealt with in the literature [7].

Decision theory can then be applied based on "expected values". Most of the methods suggested in the literature and used in practice for ranking projects take account of uncertainty by using "probability" factors such as:

P_t probability of technical success

P_c probability of commercial success.

How these are combined to give ranking numbers is discussed in section 4 but here it may be noted that many recognise that these factors are not probabilities in the statistical sense but rather are factors indicating confidence levels in the estimates of benefits.

As discussed in the next section, R & D projects have several stages. The early stage may in fact be aimed at reducing uncertainty in estimates of the outcome and the problem arises as to whether cost-benefit analysis can be used to set levels of effort for all such work including other means of reducing uncertainty such as market surveys, design studies, etc.

4. CONDITIONAL NATURE OF THE BENEFITS

In most cases the realisation of benefits from R & D programmes is conditional

* A good, though perhaps extreme, example is the research that has been carried out by or for a number of governments on the disinfection, sterilisation and pasteurisation of food. Some marginal benefits can be foreseen but the pay-off has to be qualified by the likelihood of public acceptance of irradiated food—or of what authorities and manufacturers believe to be the acceptability to consumers. Irradiation still has emotive connotations and the likelihood of successful application is low; the use is largely confined to military supply where consumer attitudes may be said to be constrained.

on other investments. The pattern of events is usually conceived as "Research-Development-Investment-Production-Sales-Consumer-Satisfaction". This is, of course, over-simplified and misleading if used as a universal guide. The end product of R & D is knowledge and the confidence that brings and sometimes this can be exploited without further investment. A company may do research to find new uses for an existing product for which it has or expects to have spare production capacity; the end product of computer research may be a new software code; public funded research may lead to changes in building regulations reducing investment rather than increasing it; and so on. But often the costs of R & D represent only a small fraction of the total resources needed for exploitation, a point stressed in a number of publications [10], and general figures for the ratio of research:development:capital investment figures of 5:15:80 have been quoted [11] though these must be treated with caution since there is much variation between industries.

It needs to be clear in cost-benefit analysis whether we are estimating the return on the whole spectrum of exploitation or just the R & D sector. In fact we are usually concerned with the decision on the R & D alone, or even on some part of it; the other commitments are made later.

In the literature, and in practice, values for decision or ranking purposes are of two types, for example:

$$(i) \quad \text{Project number} = \frac{P_t \times P_c \times (p - c) \times V \times L}{\text{total costs}}$$

where P_t = "probability" of technical success
 P_c = "probability" of commercial success
 p = price
 c = cost
 V = annual sales volume
 L = life of product

$$(ii) \quad \text{Project number} = \frac{P_t \times P_c \times \frac{I_1}{1+r} \times \frac{I_2}{(1+r)^2} + \frac{I_n}{(1+r)^n}}{\text{total discounted R \& D costs}}$$

where r = discounted rate
 I_n = net income in year n

i.e. these methods use benefit-cost ratios for ranking purposes.

Such methods can be misleading since projects can be terminated before being taken to the exploitation stage either because of lack of technical success or because of a fresh evaluation of the needs or market. Revised formulae are needed of the type:

Expectance of Total Benefit/Expectance of Total Cost

$$\frac{P_R P_D P_M (\overline{I(r)} - \overline{C(r)})}{\overline{R(r)} + P_R \overline{D(r)} + P_R P_D \overline{M(r)} + P_R P_D P_M \overline{F(r)}}$$

where P_R, P_D, P_M are the probabilities of success at the research, development and marketing stages respectively.

$\overline{I(r)}$ expected income discounted.

$\overline{C(r)}$ expected production or operating costs discounted.

$\overline{R(r)}, \overline{D(r)}, \overline{M(r)}$ discounted costs of research, development and marketing respectively.

$\overline{F(r)}$ discounted value of investment necessary after marketing success has been achieved.

In practice a frequent course is to estimate the net benefits on the basis that the necessary investments subsequent to the R & D stage will be adequately rewarded in the prices of the product or services which are sold by those exploiting the R & D. The return on capital, plus a profit margin, is included in the techno-economic estimates of products and services, these estimates being an essential constituent of any evaluation. It may be noted that two outstanding hindsight cost-benefit studies of R & D by Griliches [2] and Grossfield and Heath [3] both make assumptions that the capital invested has been adequately rewarded and compare net benefits with R & D costs. This procedure is probably satisfactory provided a check is made that the amount of later investment is not so large as to disturb the general pattern of capital investment and thus require some divergence of opportunity cost from the market value or form some constraint on the exploitation.

If comparing projects, we need, of course, to ensure that all the analyses are done on a similar basis. To the objection that quite small inconsistencies in what costs to include will have a larger effect on the ratio of net benefit to R & D costs than on the return on the whole project, it may be remarked that the spread of net benefit to R & D cost ratios is often high and we are not usually faced with small differences.

5. R & D AS AN OPTION TO OTHER MEANS

The analyst of R & D programmes must first pay attention to the objectives; he may be breaking into a loop of the evaluation process since frequently there is feedback from the analysis to the objectives; he must also examine whether there are other means towards the objective which appear a priori to offer a cheaper route. In some cases this will be obvious at the start and the alternative means will effectively set the target economic constraints mentioned in paragraph 3.1. The development of nuclear power is a clear example, the targets being set by the expectations of the cheapest alternative method of power generation at the time at which the proposed development can be exploited. The use of technological forecasting techniques may help the analyst here. Another example is provided by desalination; a public body sponsoring research in this field will set its targets by the prospective costs of schemes for long distance pipelines, or other means of transporting fresh water to the areas of need.

Sometimes the R & D will interact with other courses. The fire bill to a community will be composed inter alia of the costs of losses by fire, of preventive measures, and of services to save life and reduce damage. These may be reduced by the development of

less flammable materials, better detection systems, more efficient extinguishers, etc. The same may be attained by having more fire brigades, more inspectors or better publicity on the dangers of fire. We may find that the levels and distribution of fire brigades, the numbers of inspectors, or the amount spent on advertising are the subject to forces which tend to optimise them (i.e. such that marginal additional benefits are less than marginal additional costs and marginal reductions in cost are exceeded by the increased losses) to an extent not true of R & D. But the latter will interact with the other costs and cause a change in optimum level.

Consider the optimum for installation of detector systems as represented in Figure 1. The optimum levels of installation of current detectors are, say, C_1 —such detectors being a mixture of rapid, costly instruments and slower, cheaper devices. Development of a rapid, cheap detector moves the optimum to C_2 . There is a benefit because the total costs will be lower but the reduction cannot be gauged from simply considering the change in cost per detector.

Comparison of R & D with other projects must, of course, allow for the differing levels of uncertainty. The decision maker's action will be affected by his attitude towards risk. We cannot assume that if $P_R \times BR = P_C \times BC$ (where BR, BC net benefits from a research and conventional project respectively) that both projects are equally

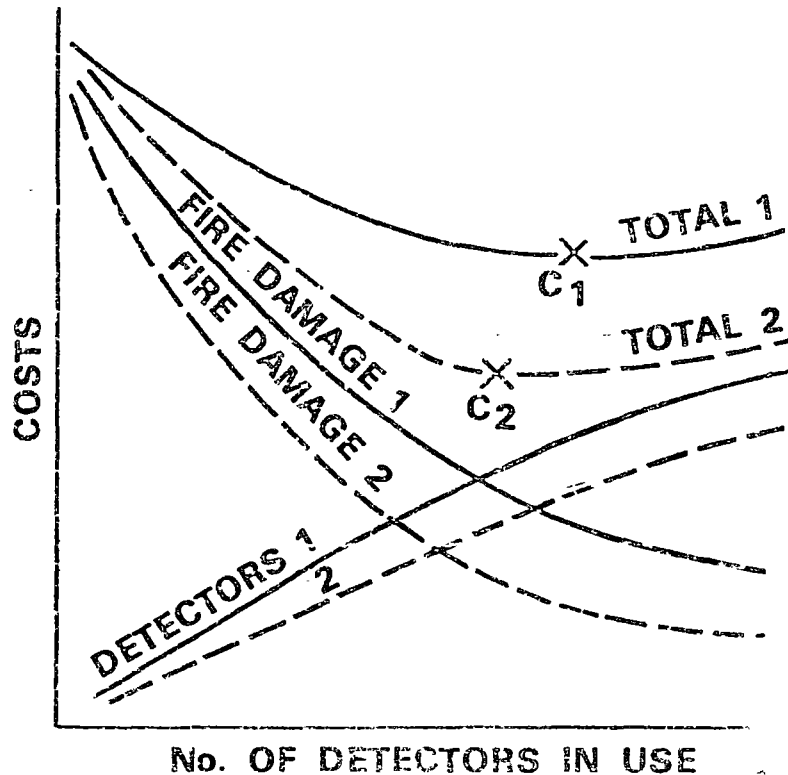


FIG. 1 — ILLUSTRATION OF INTERACTION OF R & D ON OPTIMUM INSTALLATION OF FIRE DETECTORS

desirable if, say, $P_R = 0.5$ and $P_C = 0.95$. We may correct for this by looking for a higher "expected value" return from the R & D than from more certain projects.

6. R & D AS AN OPTION TO OTHER R & D

The objectives of our programme may be met through other programmes of research. That a project to develop a composite material for a set of uses or markets must be considered in the light of prospective advances in metal alloys or ceramics is obvious. The use of satellites to relay educational television must take account of future developments in land lines and microwave links. What is not always so clear is that the objectives may be invalidated by other advances. A new biological process for extracting metals from low grade ore will affect our views on how much to spend on instruments to analyse the sea-bed. Ideally we would like to consider together all R & D programmes aimed at the same objective but this is seldom possible; we are forced back to treat the alternatives as a factor of uncertainty and attempt to improve judgment by technological forecasting in the relevant fields.

While the combined consideration of R & D options is seldom possible, it is occasionally so. A government agency may be responsible for a number of nuclear power development projects aimed at the same end; or in the case of desalination research it may see a number of alternative and competing processes. Figure 2 shows a

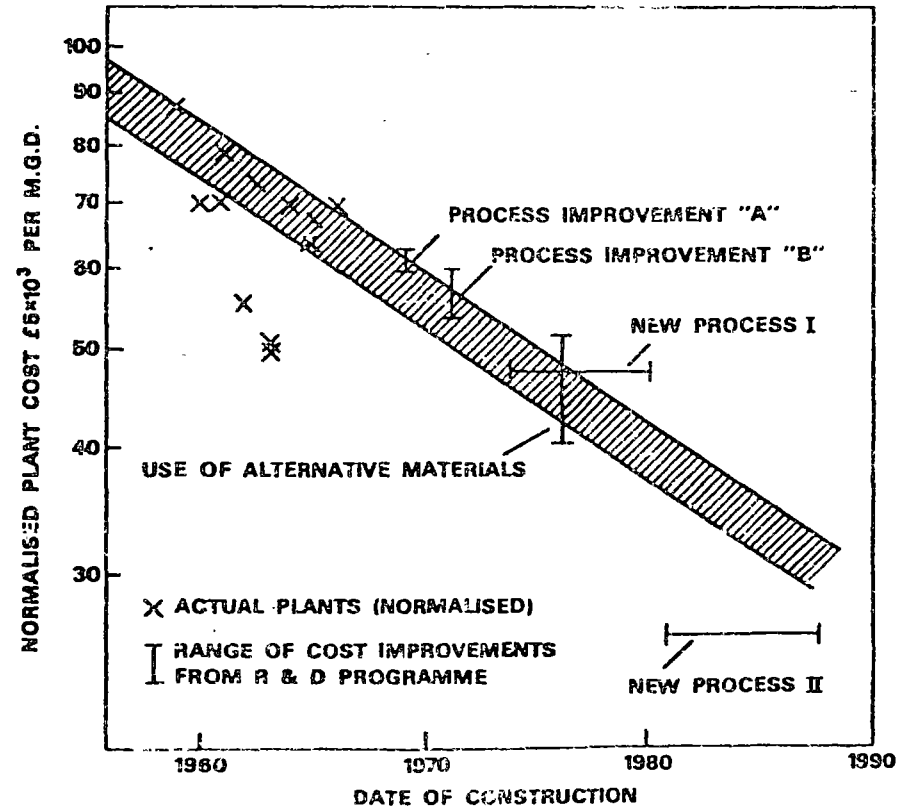


FIG. 2 ANTICIPATED CAPITAL COSTS DESALINATION PLANTS COSTS NORMALISED TO 2 M.G.D. UNITS WITH P.R. 8:1

technological forecast in which "normalised" capital costs of desalination plants are used as a parameter of technological performance—and indeed of economic performance, for the costs of water and the benefits are related to the capital costs. The figure shows that we have five R & D programmes from which to choose. The number of options is much larger since we may select one or more processes or process improvements. In this case systematic analysis of the different combinations must be carried out assessing the marginal gains from working on additional processes; the cost-benefit analyses must take account of the time scales, the shape of the demand vs. time curve, the life of each improvement before it is overtaken by other advances, etc. Next, the analyst must ask whether the public body needs to fund the R & D itself. There are few fields in which any one organisation is uniquely engaged. Will the knowledge from someone else's R & D be available? And equally important, when will that be? The problems are often those of timing or of compatibility of objectives. But in any event a check must be made of the marginal benefits of one's own sponsorship. Two cautions are needed here. First, one must not assume that the prospective supplier of knowledge is certain of success with the target timescales and economic constraints. Secondly, one cannot purchase R & D knowledge off the shelf like a kilo of apples. The customer has to be sophisticated and the costs of relying on others include that of maintaining a small but "technologically-viable" home-based team. This factor has been an important one in the funding of certain research programmes by the governments of medium to small sized countries.

7. MECHANICS FOR REALISING THE BENEFIT

The diverse nature of R & D is matched by correspondingly diverse mechanisms by which it is exploited to individual or general gain. While reference has been made to the fact that some cases require no supporting investment, in many the first step in exploitation requires the manufacture of new products or provision of new services by one or more companies, for example materials, machine tools, instruments, chemicals, process plant, electronic components and so on. Since probably at least one-half of the customers of "high technology" products are other companies we find a chain of production-production links before the benefits, if any, reach the consumer. This applies to much public-funded as well as privately financed R & D. This can be illuminated a bit further by attempting a broad classification of the benefits that can arise

8. TYPES OF BENEFITS FROM R & D

The R & D, whether performed by the producer or elsewhere, is followed by investment of resources into the manufacture and sale of new products; or the sale of new or extended services; or the sale of existing products or services but arrived at by new or changed processes. Of course some of the investment may be transferred to others by means of contracts for input resources (materials, components or services) but it is usually possible to identify one or more parallel companies who effectively control the success of the exploitation by their investment and performance. The returns to these companies may be by way of:—

- (i) increased profits through new or expanded markets for new products.
- (ii) protection of existing levels of profit. New processes or products will arise affecting present levels. The investment will be considered on a marginal basis, i.e. the marginal differences between investing and not investing.

- (iii) increased market penetration through quality or service improvements.
- (iv) lower input costs—the return being either by way of lower costs themselves, through increased sales reflected by lower prices (depending on the price elasticity of demand), or through greater output per unit cost.

These benefits are obvious and do not need illustration. The point to the cost-benefit analyst and to the government agency concerned with the successful exploitation of public funded R & D is to check that the market forces or imperfections are likely to be such as to allow a producer surplus enough to encourage the initial stage of exploitation. For example, the price paid to the producer should reflect the buyer's judgment of the benefits that he will gain from the purchase but modified in the light of the risk that he considers he is taking by using a new product or service. The demonstrable benefits must be such as to more than balance any uncertainty or risk that pertains to the buyer and to give a return to the producer at least commensurate with his own risk.

9. CONSUMER SURPLUS

For many R & D projects we can, from our knowledge of the structure of industry, forecast that other companies, together with public sector organisations, will buy new products or services because the latter give them marginal benefits. Such will take the same forms as applied to the primary exploiter, viz: increased profits, protection of profits, lower input costs, improved quality or service leading to larger or more secure markets. There may be one or more such companies or organisations in the vertical chain. In practical cases, we need, in the decision-taking stage, to project the possible chains of use since this will often show a spread of applications and markets and what we may call the intermediate consumers/producers surplus to such companies frequently appear to be many times larger than those to the primary exploiter even after allowance is made for the primary exploiter to recoup a share of such benefits by his pricing policy.

For example, consider a new material for an engine component. The primary exploiter makes the material for sale to engine manufacturers. The price will be set by the price-demand schedule but it will not more than partially reflect the advantages to the various engine manufacturers since these will differ between them depending on their market situations. Differential pricing to the various manufacturers is unlikely significantly to increase this reflection of advantage (particularly if the material passes via a sub-contractor for components). The engine manufacturers are unlikely to gain significantly through lower input costs and, indeed, the material cost of components may have little effect on the overall cost of the engine. The advantage is more likely to be in the increased market penetration achieved through offering improvements in operational performance. In a competitive situation the manufacturer may recoup only a fraction of the value to his customers of such improvements in performance. The latter may be calculable in terms of reduced operating costs, e.g. longer periods between maintenance, lower fuel consumption, since we often know the relationships between technological parameters and operating economics.

One approach then is to project the course by which our objectives will be met; to follow the chain of exploitation, to identify and estimate the market demand using the best forecasting techniques at hand. This is a time-consuming but essential part of the analysis. Our aim is to identify the "surplus"; the split between the various

producers in the chain is only of concern to ensure that there is no apparent disincentive to exploit; such disincentive may be avoided if the parties bargain together or even merge [5].

Another approach which may be available to us is to compare the costs of providing the final product as a service to consumers (not the prices) with the cheapest alternative expected at the future time. Comparison of nuclear generating costs with those from other sources is one example. Water costs from desalination is another. In some cases parametric costing formulae have been historically derived which may be projected to the future. The use of composite materials may lead to weight savings in aircraft, high speed marine craft and other vehicles. The extent to which substitution leads to weight saving may be a complex matter since there are many design interactions, but once these are estimated the worth to operators may be derived from relationships between money and weight for the different types of craft although we do not know how the advantage will be exploited in any particular instance, e.g. by increased passenger capacity, or lower fuel costs.

In other cases we can calculate the savings in resource costs to public authorities. Research in which is called Industrial Aerodynamics contributed to the design of a suspension bridge for the Severn estuary which could be compared with a slightly earlier similar design (for the Firth of Forth) made before the research was available. A cost saving of about £1m was deduced.

Another instance is the use of hydrological research and radio-isotope tracers to establish the movement of silt in estuaries. Dredged silt is dumped in areas out of sea from some of which it shows a homing instinct. Choice of areas where it is content to stay put saves the port authorities considerable dredging costs and the historical costs have in one instance been calculated. (Projection of savings to other ports is hazardous but it may be possible to show that the range of saving is many times any necessary marginal additional research cost.)

A further example of resource saving lies in fire research aimed at revising standards for buildings and materials such that the costs of protection against fire spread and damage can be reduced while retaining the same standards of safety and protection. The approach in planning is one of cost-effectiveness; subsequent action, e.g. legislation, leads to benefits.

These approaches assume that resources released have opportunity cost at their current or projected market values. They overlook the transfer payments or sectional dis-benefits (e.g. to the dredging companies; incidentally it would be difficult to persuade the research scientists that defeating nature's perversity was of no benefit even if the opportunity cost of dredgers was zero). Sometimes a problem may arise as to whether the labour rates in a particular industry are the right reflection of opportunity cost since the labour "saved" may not be employed in the same industry.

10. OTHER ECONOMIC OBJECTIVES

Prudence dictates that the benefits and costs ascribed to R & D should be those which can be clearly seen and clearly linked with the programme. However, it may be that some wider effect can be identified with equal clarity, for example where

technological innovation will lead to changes in the balance of regional employment, thus increasing or decreasing social costs. Alternatively there may be some impact on a nation's foreign exchange situation through an increase or decrease in imports or exports. These effects can be separately identified to the decision-maker; their weight will depend on policy at the time.

11. WELFARE AND AMENITY BENEFITS

Not surprisingly R & D leads to benefits in the economically less tangible areas—a few of these "benefits" will doubtless be regarded by some as cleaning up the mess of other technology. Some examples are given to prove the point, which will not be laboured here. The problems of how they are handled are common to other applications of cost-benefit analysis:

<i>Factors</i>	<i>Examples of Research Leading to Improvements</i>
Reduced loss of life	Fire research, aviation
Improved health	Air pollution
Reduced injury and risk of injury	Fire research
Quality improvements (above that covered by market factors)	Fish processing and handling
More leisure time	High speed transport
Amenity—visual	Use of isotopes and hydrology to trace underground water flow—may lead to less need for reservoirs
—noise	Rotary engines
—olfactory	Waste disposal processes
—other	Numerically controlled machine tools (working conditions)
	Use of aerodynamics research to help town planning
Prestige	By-product of research having other major objectives, e.g., high speed vehicles, space
Entertainment	Ditto

Some of these have directly measurable economic effects—costs of hospital treatment, loss of working hours, reduced costs of attaining given safety standards, laundering costs through dirty air, and so on—and such benefits can be included along with those described in section 9. But others may have to receive notional treatment, or be left as a stated residual. Where such benefits are main objectives of the R & D, then some defined target of performance, e.g. reduction in loss of life, or acceptable noise level can be specified and the evaluation becomes one of cost-effectiveness rather than cost-benefit analysis. The problem does become difficult if one is trying to compare programmes or optimise a portfolio containing work leading to both tangible and intangible benefits. Within a single programme it is best to split the objectives and apportion the costs by objectives as best one can.

12. LEVELS OF CRITERIA

To select from a number of R & D programmes by using cost-benefit analyses we need to be sure the latter are carried out on a consistent basis. The choice can be obscured by the fact that much R & D is exploited through an industrial chain. It would not be sensible to assume that all benefits from publicly-funded R & D are reflected in the returns to the companies who are the primary exploiters, i.e. are at the first stage in the chain.

Also the question arises from government agencies as to whether the first members in the chain should not make some return (by cash payment, royalties, etc.) towards the cost of government investment in R & D, whether this is done in the firms concerned, or in a government laboratory; particularly this is so where some innovation or specific capability has arisen in government work and where timely exploitation requires a continuation of government-industry collaborative work. A decision to spend government money could thus be based on the prospects of return to the laboratory or the sponsoring organisation. An analogy here is the case of contract R & D institutes where the payment is the sole criterion. In practice the willingness of a firm or firms to contribute, in return of course for certain advantages, measures more than a financial return. It confirms judgment that the R & D involved is likely to lead to benefits; and it establishes the first vital link towards exploitation and partially removed the bugbear that R & D will fail to be exploited to the country's advantage through lack of communication.

A different level of benefit is implied when the investment is regarded as being in aid of a particular industry or sector of the economy. The measures of return relate to the 'performance' of the sector concerned, i.e. improved productivity, and perhaps contribution to foreign exchange balance. These benefits are "assumed" on a sub-optimal basis for we would need to relate the performance of the industry to other sectors of the economy to know if the net effect was beneficial, e.g. by means of econometric models.

Thirdly, we may assess the R & D on the grounds of benefit to the community as a whole, taking account as best we can of the spectrum of exploiters and users, and other residual social benefits. This is in fact the proper basis inferred by "cost-benefit analysis".

The analyst must make the basis clear to the decision-maker and avoid false optimism of a selection of research products through using various levels of criteria.

It may be observed that changing the basis on which costs and benefits are estimated may change not only the level of R & D investment but in some cases the objectives and technological direction of the R & D programmes themselves.

13. OPPORTUNITY COST OF RESEARCH RESOURCES

Analysis of individual investments in R & D programmes should, it may be argued, use the opportunity costs of research resources. Such resources have, of course, a market value but since this value varies but little across a range of R & D activities (including a number of large fields such as defence, the universities, and basic research, where market mechanisms do not operate) the value is unlikely to reflect opportunity cost in terms of profit earning. In practice, however, too little is yet known of the opportunity cost of the various types of research resource to vary from the market value with any confidence. It may be possible to do so within a particular laboratory if all of the projects can be measured in benefit terms; and if the application of cost-benefit analysis to publicly-funded R & D is extended, we will get more light on the subject.

14. CONCLUSION

As in other applications of cost-benefit analysis, pre-decision studies on R & D programmes may require the use of systems analysis and modelling as well as various forecasting techniques. Little has been said of these. We have concentrated on a few aspects of applying analysis to R & D situations. While there are obvious limitations such studies can, it is believed, help not only in the decision-making process but also in the planning of R & D programmes.

In putting together the picture of benefits likely to arise from R & D careful attention has to be paid to the incentives or disincentives that such benefits imply. The general economic and social benefits do not appear as a cash return to the investors up the chain of exploitation.

Mention has been made of the uncertain nature of research. In deciding to invest in Government R & D, we have to take account not only of the scientific uncertainties but of the chances of successful exploitation. Mapping the pattern of benefits can thus assist in assessing not only the level of gain but also the probability of attaining it. It has also an important role in defining the objectives of the programmes, of influencing their orientation and structure, and of identifying opportunities for increasing their effectiveness.

ACKNOWLEDGMENTS

I have drawn upon the work of my colleagues in the Programmes Analysis Unit to illustrate points in this paper; they, and members of the Economics and Statistics Division of the Ministry of Technology, have also made constructive comments. I wish to acknowledge both forms of help.

REFERENCES

1. Prest, A.R., and Turvey, R. (1965) 'Cost Benefit Analysis: A survey' *Economic J.*, vol. 75, pp. 683-735

2. Griliches, Z. (1958) 'Research costs and social returns: Hybrid corn and related innovations' *J. Political Economy*, vol. 66, pp. 419-431
3. Grossfield, K., and Heath, J.B. (1966) 'The benefit and cost of Government support for research and development', *Economic J.*, vol. 76, pp. 537-549
4. Foster, C.D., (1968) 'Cost-benefit analysis in research', in *Decision making in national science policy*. A. de Reuck, M. Goldsmith, J. Knight, eds. Churchill, London
5. Peters, G.H. (1968) *Cost-benefit analysis and public expenditure*, Eaton Paper 8, 2nd edition, Institute of Economic Affairs, London
6. Williams, B.R. (1965) 'Economics in unwonted places', *Economic J.*, vol. 75, pp. 20-30
7. Winkler, R.L., (1963) 'The consensus of subjective probability distributions', *Management Science*, vol. 15, pp. B61-B75
8. Brooks, H., (1967) 'National science policy and technology transfer' NSF Report 67-5, National Science Foundation, Washington, D.C.
9. Davidson, H., (1968) *The transfer process from science to technology*, institute on the Worth of Planning and Control Processes in R & D Management, American University, Washington, D.C.
10. Central Advisory Council for Science and Technology (1968) *Technological innovation in Britain*, H.M. Stationery Office, London.
11. U.S. Department of Commerce (1967) *Technological innovation: Its environment and management* U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., PB-174103

In

Development Planning

edited by Hollis B. Chenery

with

Samuel Bowles

Walter Falcon

Carl Gotsch

David Kendrick

Arthur MacEwan

Christopher Sims

Thomas Weisskopf

1. Introduction

In recent years recognition of the fact that education has many of the characteristics of an investment process has led to its formal treatment as a capital good and to attempts to measure its marginal efficiency. The rate-of-return approach to educational planning that has thus evolved is faced by the same difficulty that confronts the technique when applied to investment problems in general, that it is valid only as long as the investment under consideration is sufficiently marginal so that it does not affect the structure of prices. Unless one extends the analysis to take into account the effect of an investment, especially the effect of the increase in output due to the investment, on the relevant markets, its usefulness is confined to making qualitative but not quantitative assessments of desirable investment. And it cannot be used at all for determining the distribution of such investment over time. For this reason the approach has generally been employed as an indicator of immediate priorities rather than as a planning tool, and for the latter purpose it has been displaced by relatively primitive techniques like the manpower requirements approach.

The purpose of this chapter is to extend the approach so that it may be used for estimating the return to nonmarginal investments in education. As in the classical variation of the approach, wage differentials are used to measure the benefits of education. However, instead of taking wage differentials to be exogenous quantities, the effect on them of the growth of the educational system is estimated. This is achieved by calculating the impact of the growth of the educational system on the supplies of different types of labor and then estimating how changes in the structure of the supply of labor will affect the structure of wage rates. One thus obtains a feedback relationship between the growth of a level of education and its own profitability. The faster the growth of a level of education, the greater will be the supply of graduates from it and therefore the lower their wage; meanwhile, the smaller will be the supply of persons who enter the labor force immediately instead of receiving

* Economic Development Report No. 127, presented at the Development Advisory Service Conference, Sorrento, Italy, September 5-12, 1968 (revised April 1969).

Portions of this research were supported by the Development Advisory Service and the Project for Quantitative Research on Economic Development through funds provided by the Agency for International Development under AID Contract CSD 1543. The views expressed in this paper do not, however, necessarily reflect the views of AID.

I am indebted to Marcelo Selowsky for many helpful discussions and suggestions and to Samuel Bowles for numerous comments on earlier drafts.

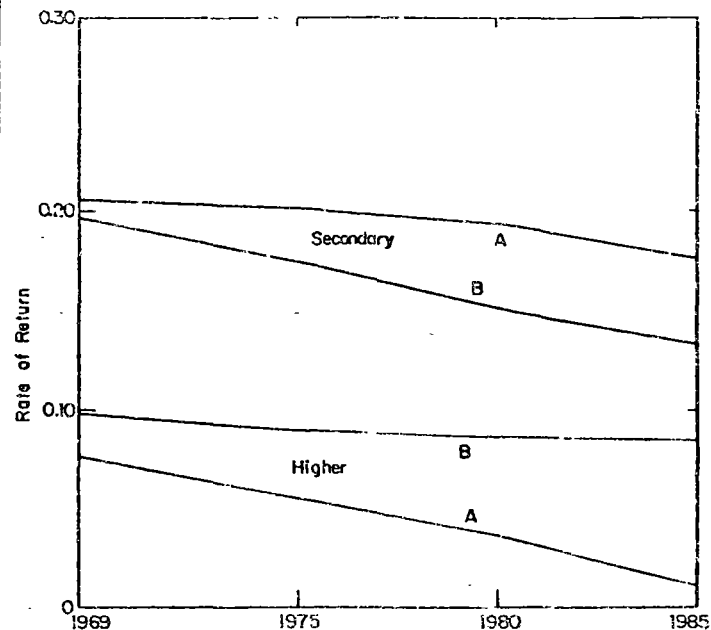


Figure 12.1

the education, and the higher will be their wage; hence the lower will be the wage differential and thus the rate of return to that type of education.

Figure 12.1 illustrates this point. The lines marked *A* show the course of the rate of return over time to secondary education and higher education in Colombia on the assumption that those levels of education maintain their historical growth rates of 10 percent and 11 percent per year, respectively. The lines marked *B* show what happens if the growth rates are changed to 15 percent and 5 percent per year, respectively.¹

If one believes that investment in education should be carried to the point where the marginal rate of return is equal to a given social rate of discount, the feedback relationship can be used to estimate the amount of investment required and also to determine its timing. In Figure 12.1 when higher education grows at 11 percent, its rate of return falls from just over 7 percent in 1969 to less than 1 percent by 1985. For a social discount rate of 10 percent this growth rate would be much too high. Cutting the growth rate back to 5 percent per year brings the trajectory of the rate of return close to the 10 percent line, and thus it is shown that the optimal growth rate for that discount rate is near 5 percent. In principle by making finer, year-to-year adjustments in the enrollment growth rate one could bring the rate of return trajectory to lie exactly on the 10 percent line. It should be noted, however, that the growth of one level of education will affect the profitability of another, and so such adjustments should be made simultaneously for all levels.

The key part of the analysis is the relationship between the supplies of different types of labor and wage levels. Studies of the rate of return to education have gen-

1. In this figure, the elasticity of substitution, σ , = 6 and the rate of growth of GDP due to non-labor factors of production, λ , = 0.04. The significance of these parameters is explained in Sections IV and V.

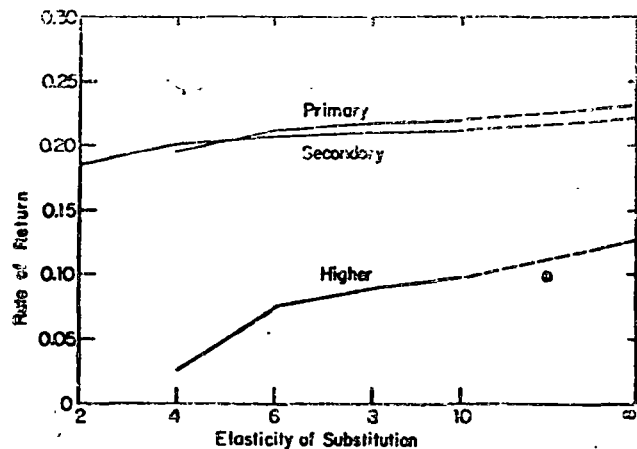


Figure 12.2 1969.

erally made the somewhat ingenious assumption that relative wage levels will not change over time.² Given that in most countries the educational quality of those joining the labor force for the first time is appreciably superior to that of the existing stock and that therefore the labor force is being secularly, but in the long run, substantially, upgraded, this assumption implies that the elasticity of substitution between different types of labor is infinite.³ However, casual observation of cross-section data and time series data shows that the greater are the relative supplies of the more highly skilled types of labor, the lower are their relative wages, implying a less than infinite elasticity of substitution. This impression has been confirmed by Samuel Bowles (1968), who found an elasticity of substitution of between six and eight using two categories of labor and international cross-section data, a result corroborated by an experiment of my own in which time series data for the United States yielded an estimate of 3.6 for the elasticity (Dougherty, 1969: appendix 2).

The projection of wage rates is important because the estimate of the rate of return to a level of education may be sensitive to yearly earnings far into the future, unless the estimate of the rate of return itself is high. (For a discussion of this point, see Section VI.) This is true for estimates of the current rate of return to education, and especially true for estimates of the rate of return in future years. Figure 12.2 shows the sensitivity of estimates of the current rates of return to Colombian education using alternative assumptions about the elasticity of substitution. The lower the elasticity, the faster the relative wage levels are expected to contract. It can be seen that the estimate of the current rates of return to primary and secondary education, both high, are not influenced much by the elasticity; but that of higher education, which is low, is severely affected. Figure 12.3 shows the effect of the elasticity of substitution on the estimates of the rates of return in 1980. In this case the estimates of both primary and secondary education are significantly affected by the elasticity, and the estimate for higher education is very sensitive to it. Table 12.1 shows base year (1964) wage

2. Some are downright naïve and assume that absolute wage levels will remain unchanged.

3. Providing that there do not exist relative complementarities between some types of labor and other factors of production, for example, between highly skilled workers and capital. If such relative complementarities do exist, it would be possible for relative wage levels to remain constant with less than infinite elasticities of substitution.

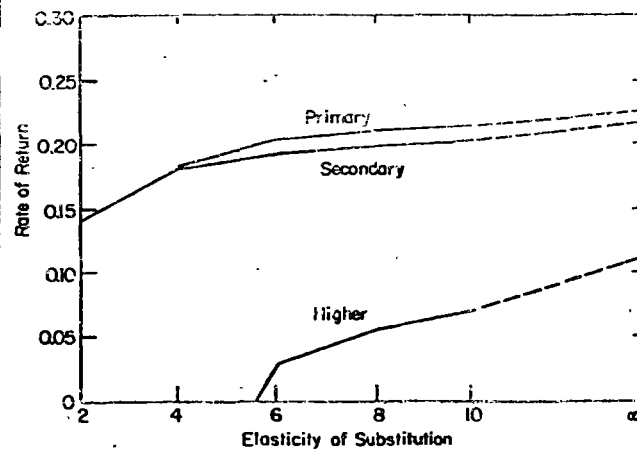


Figure 12.3 1980.

Table 12.1. Projected Wage Levels in Colombia^a (thousand 1958 pesos per year)

	Illiterates	Primary 1-3	Primary 4-5	Secondary 1-4	Secondary 5-6	Higher 1-3	Higher 4-6
1964 (base year)	1.50	2.26	3.27	5.61	12.65	17.07	21.61
1980							
$\sigma = 4$	2.45	2.98	4.56	6.15	18.83	17.32	23.04
6	2.27	2.96	4.46	6.51	17.99	18.81	24.61
8	2.19	2.95	4.40	6.69	17.57	19.58	25.41
10	2.14	2.95	4.37	6.80	17.32	20.06	25.90
∞	1.94	2.92	4.22	7.24	16.33	22.03	27.89

^a All the parameters except σ were set at their reference values. See Section VII below.

levels and projected 1980 wage levels corresponding to alternative hypotheses about the elasticity of substitution, in constant 1958 pesos per year.

The calculations required by the analysis are executed in six stages. Exogenously given projections of the number of students entering the first year of each educational level are used to estimate the additions to the different categories of workers and to calculate the demand for teachers and for investment in fixed capital in schools. This information is used to project the number of workers in each of the different categories by which the labor force is classified. A constant elasticity of substitution function is then used to aggregate these projections into a single measure of the labor force which takes into account not only the increase in the total number of workers but also the improvement in its quality. This index is used together with an estimate of growth due to factors of production other than labor in order to estimate the rate of growth of GDP for the country. This enables the marginal product of each different category of worker to be calculated, and, hence, one obtains projections of the wage rate for each category. The wage-rate projections can then be used to evaluate the present discounted values of the benefits and the costs of each level of education, and one arrives at an estimate of their rates of return. If it is desired that the rate of return to each level of education should be equal to some predetermined social dis-

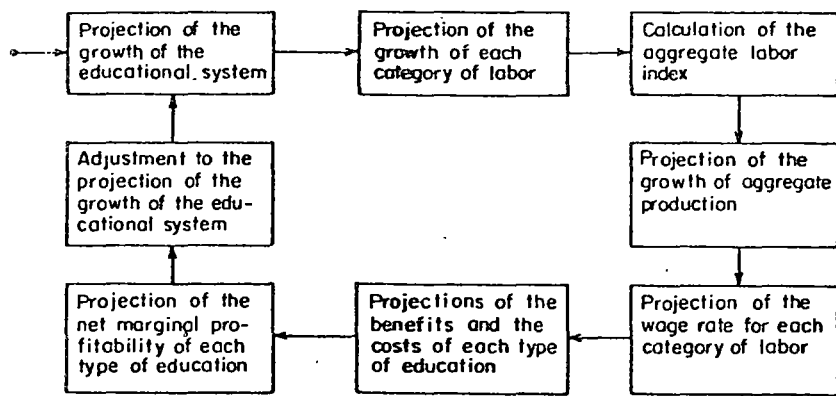


Figure 12.4

count rate, these results can be used to modify the enrollment projection. Those branches of the educational system with rates of return greater than the social discount rate should be increased, and those with rates of return less than it should be reduced. The initial projections can thus be adjusted iteratively so that their rates of return are equal to the discount rate over the whole of the planning horizon. When this point is reached, the supply and the social demand for each type of labor are in balance, and the educational system is attaining its optimal growth path. Figure 12.4 represents the process schematically.

The remaining sections of this paper describe each of the stages in more detail with reference to an application of the methodology to education in Colombia.

II. The Educational System

In Colombia, primary education lasts 5 years; secondary education 6; and higher education up to 5 or 6.⁴ Two kinds of information are required for the projection of the growth of each level of education: (1) the basic parameters, such as dropout rates and student-teacher ratios; and (2) the projection of the enrollment in the first grade⁵ of each educational level for each year of the planning period.

The first task is to transform, for each educational level, the basic parameters into what will be referred to as an "impact table," a table which shows all the repercussions of increasing the enrollment in the first grade of that educational level by 100 students in year n . In order to shorten the exposition, the construction of the impact table will be described here in detail for Colombian secondary education only. The procedures for primary and higher education are similar; their descriptions are omitted (but can be found in Dougherty 1969: appendix 3).

The basic parameters needed for the analysis are (1) the student-teacher ratio, (2) the composition of the teaching staff according to educational level, (3) the

4. That is, if a student does not repeat any year. In fact, repeating rates are high, so that, for example, the average time taken to complete primary education is approximately 6 years.

5. The word "year" will be replaced by the word "grade" when referring to instruction within any educational level. For example, the first year of secondary education will be referred to as the first grade of secondary education.

Table 12.2. Calculation of the Number of University Trained Teachers Required by Secondary Education in 1978 (thousands)

Year	Number of students entering first grade of secondary school	Requirements in 1978 of university trained teachers
1969	164	0
1970	180	0
1971	198	0.1
1972	218	0.4
1973	240	1.8
1974	264	2.7
1975	290	3.9
1976	319	5.6
1977	351	7.7
1978	386	11.7
1979	424	
1980	467	
Total		33.9

capital cost of providing a place for one student, and (4) the dropout and repeating rates for each grade.

With these basic data the effects of enrolling 100 students in the first grade of secondary education in year n are calculated. The number of teachers required by the students is estimated using the student-teacher ratio, and this is divided between teachers with higher education and those with secondary education only. The capital stock associated with the students is also calculated.

The next step is to calculate the position at the beginning of year $n + 1$. By this time most of the students will be entering second grade. Some will be repeating first grade. The remainder will have dropped out. The total enrollment will be smaller than 100 by the number that have dropped out, and the number of teachers and the amount of capital required will have been reduced proportionately. The investment in the second year will be equal to the depreciation on the capital stock during the first year, less the reduction in the capital stock due to the dropout of a fraction of the students and, hence, is likely to be negative. The fraction of the students that dropped out during the previous year represents a potential addition to category 4 (see Section III) of the labor force.⁶

The process is repeated for each succeeding year. In year $n + 6$ the first graduates appear—those students that have neither dropped out nor repeated. In the next few years more graduates appear, these being students who have repeated one or more grades. By the eighth year after the initial enrollment, most of the students have dropped out or graduated and will have been assigned either to category 4 or 5 of the labor force.

The results of these calculations are gathered together in the impact table (Table 12.3) With this table it is possible to calculate the effect on the secondary school

6. For the purposes of this paper the Colombian labor force is classified into seven categories according to educational level. For the definitions of these categories, see Section III.

system and on the labor force of a projection of the number of students entering the first grade secondary education from 1969 onward.

As an illustration take the enrollment projection shown in the second column of Table 12.2, which is based on the assumption that the present 10 percent annual growth rate is maintained.

The consequences of this projection for, say, the year 1978 can be calculated using the impact table. As an example, the total demand of the secondary school system for university trained teachers will be estimated. The number of university trained teachers needed by the cohort of students entering secondary education in 1978 will be $\frac{386}{100} \times 3.04 = 11.7$ thousand. The number needed in 1978 by the cohort which entered in 1977 will be $\frac{35}{100} \times 2.18 = 7.7$ thousand. Generalizing, the number needed by the cohort entering in the year (1978 - n) will be equal to the amount of the enrollment in that year multiplied by $\frac{1}{100}$ of the coefficient for year n + 1 in the impact table. It can be seen from Table 12.2 that the closer a cohort is to 1978, the larger is its requirement of teachers. This is because the later its date of entry, the larger its initial size and the less it will have been reduced by desertion and graduation by 1978. The aggregate requirement of university trained teachers by secondary education in 1978 is shown as the total in Table 12.2. In the same way one may calculate the requirement of teachers with secondary education, the gross investment in fixed capital needed, the dropouts to labor category 4, the dropouts to labor category 5, and the number of graduates in 1978. Likewise all these quantities may be calculated for the secondary school system for every year from 1969 until the terminal year of the planning period. And by the same methodology, the consequences of enrollment projections for primary and higher education may be calculated. The next stage is to compute the combined effects of these enrollment projections on the supply of each category of labor.

III. The Labor Force

In the application to Colombia the labor force is divided into seven categories:

Category

- 1 illiterates
- 2 those with some primary education but not more than 3 complete years of it
- 3 those with more than 3 years of primary education but with no secondary education
- 4 those with some secondary education but no more than 4 complete years of it
- 5 those with more than 4 complete years of secondary education but no higher education
- 6 those with some higher education but not more than 3 complete years of it
- 7 those with more than 3 years of higher education

The projection for category 5 is described in detail here. Since the projections for the remaining categories are made in similar fashion, their descriptions are omitted (but can be found in Dougherty 1969: appendix 4). Category 5 contains five separate subcomponents:

a. Those workers remaining from the initial stock of the category in 1969, the year the calculations for Colombia begin. This subcomponent declines slowly as its members retire or die.

Table 12.3. Impact Table for Secondary Education: The Consequences of Enrolling 100 Students in the First Grade of Secondary Education in Year n

	Year										
	n	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7	n+8		
Total enrollment	100.0	71.7	57.6	44.7	33.4	24.8	6.3	1.0	0.1		
Enrollment in first grade	100.0	5.0	0.3	0	0	0	0	0	0		
Enrollment in second grade		66.7	6.7	0.5	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1		
Enrollment in third grade			50.6	7.6	7.3	0.9	1.0	0.9	0.9		
Enrollment in fourth grade				36.6	25.3	6.3	5.3	5.3	0.9		
Enrollment in fifth grade						17.5	0.29	0.05	0.05		
Enrollment in sixth grade	4.57	3.27	2.63	2.04	1.53	1.13	0.29	0.05	0.01		
Secondary-school trained teachers	3.04	2.18	1.75	1.36	1.02	0.76	0.19	0.03	0		
University trained teachers											
Capital requirements (thousand 1958 pesos)	235.3	168.7	135.4	105.1	78.7	58.4	14.8	2.4	0.3		
Depreciation on capital in previous year		7.1	5.1	4.1	3.2	2.4	1.8	0.4	0.1		
Gross investment	235.3	- 59.5	- 28.2	- 26.3	- 23.3	- 17.9	- 41.9	- 11.9	- 2.0		
Drop-outs from grades 1-4 in previous year		28.3	14.2	12.9	11.2	2.1	0.3				
Cumulative drop-outs from grades 1-4		28.3	42.5	55.3	66.6	68.6	68.9	68.9	68.9		
Drop-outs from grades 5-6 in previous year						6.5	1.6	0.3	0		
Cumulative drop-outs from grades 5-6						6.5	8.2	8.4			
Graduates at end of previous year							16.7	5.0	0.9		
Cumulative graduates							16.7	21.7	22.5		

Table 12.4. Example Projection of the Growth of Labor Category 5 (thousands)

Year	Residue from initial stock	Primary school teachers	Secondary school teachers	Cumulative drop-outs from secondary school	Cumulative graduates from secondary school not continuing to higher education	Total
1970	272.0	- 53.7	-28.0	20.4	7.2	232.4
1975	266.0	- 92.4	-37.7	82.5	17.6	236.1
1980	257.0	-114.9	-61.5	160.9	17.6	259.0
1985	242.0	-142.9	-99.1	289.5	17.6	307.1

b. Primary school teachers. Using the projected enrollment in primary education and the student-teacher ratio for that level, one can calculate the requirement of teaching staff. This figure forms a negative contribution to the labor force available for the rest of the economy.

c. Secondary school teachers. In the same way one can calculate the number of secondary school graduates who will be withdrawn from the potential labor force in order to teach secondary school.

d. Dropouts from secondary school. Using the projections of enrollment in secondary education and Table 12.3, one can calculate the number of students who drop out from the last two grades of secondary education and who are therefore assigned to category 5.

e. Graduates from secondary school who do not enter higher education. Using the projection of secondary school students and Table 12.3, one can estimate the number of graduates from secondary school for each year. From the projection of graduates one subtracts the projection of the enrollment in the first year of higher education and the remainder are assigned to category 5.

Subcomponents d and e represent potential additions to category 5 in the sense that they are estimates of students who leave the school system qualified to enter that labor category. However, a significant proportion, mostly women, for one reason or other will not actually enter the labor force. The figures for these two subcomponents are therefore multiplied by an adjustment factor calculated from data obtained in the 1964 census. Similar adjustment factors are calculated for the other six labor categories.

Table 12.4 shows a typical projection made for category 5. Although the projection has to be calculated for each year, it is sufficient to show here the results at 5-year intervals. It should be emphasized that each of the subcomponents b through e is dependent upon the particular projections of the enrollments in the different levels of the educational system.

The projections for the other six categories of labor are made in the same way. These are now combined by the use of a constant elasticity of substitution (CES) function in order to arrive at an aggregate measure of the labor force which takes into account the educational level of the workers as well as their number.

IV. The Aggregate Labor Index

International cross-section data indicate that most countries are experiencing two major long-term changes in their economies: (1) the structure of the labor force is

changing as the proportion of the more highly educated categories increases; (2) and the structure of relative wages is contracting. These two processes work together in a complementary fashion to secure the absorption into the labor force of those students leaving the educational system. If techniques of production change readily in response to small changes in relative wages, then one can expect relative wages to change slowly. If, on the other hand, techniques are rigid, then the structure of wages may have to change considerably in order for the supply of new workers to be absorbed. If the rigidity is extreme, the increase in the relative supply of some type of worker may not be entirely absorbed at any acceptable wage, and the result would be unemployment.

A useful concept for the analysis of this interaction is the elasticity of substitution between factors of production. In the case of a process using only two factors, the elasticity of substitution is defined as the rate at which the relative use of two factors changes, divided by the rate at which the ratio of their marginal products changes, measured along a production isoquant. The concept has been generalized to cover more than two factors of production in several different ways, of which the most widely used is due to Allen (1938: 503-509). The higher the elasticity of substitution, the smaller the fall in the relative price of a factor that is required to induce the absorption of a given increase in the relative supply of that factor into production. When the elasticity is infinite, any quantity of the factor can be absorbed without requiring a fall in its relative price. When the elasticity is unity, the relative price of the factor must fall at the same rate as the relative supply is increased. When the elasticity is zero, the production process is of the Leontief fixed coefficients form. And, in this case, it is impossible to eliminate a surplus of the factor however much the price changes.

It is important to notice that the elasticity of substitution is a time-dependent concept. In the short run it is difficult to adapt techniques of production, and hence an increase in the relative supply of a factor is likely to cause a temporary surplus and a significant fall in its price. The long-run price elasticity of demand, however, may well be appreciably greater than the short-run elasticity. The initial fall in the relative price will induce a modification of the production process toward greater relative use of the factor. The increase in the relative demand for the factor may then restore the relative price part of the way toward its former level. Thus the factor could possess both a low short-run elasticity and a high long-run elasticity of substitution.

The same comment applies to the case in which the relative supply of a factor is being continually increased. The result will be a continuous decline in the relative price of the factor. The relationship between the rate of decline of the relative price and the rate of increase of the relative supply can be expected to be sensitively dependent upon the magnitude of the latter. A small rate of increase in the relative supply might cause virtually no change in the relative price. A slightly larger rate of increase might cause an equal rate of decline in the relative price. A substantial rate of increase might not be capable of being absorbed at all and might lead to a drastic rate of decline in the relative price.

In view of these comments one might expect the elasticity of substitution between different types of labor to be high, since the ratio of the annual increase of each type of labor to its existing stock is quite small and the rates of relative increase, even smaller. It is therefore not surprising that the empirical results cited in Section I indicate that the elasticities of substitution between different types of labor are large, even when the number of types of labor distinguished is small.

Table 12.5. Example Projections of the Seven Categories of the Labor Force and the Aggregate Labor Index, Sample Years^a

Year	Category							L
	1	2	3	4	5	6	7	
1970	1481.0	2808.4	1321.8	304.7	232.4	30.6	43.7	380.2
1975	1378.0	3852.9	1442.9	877.9	236.1	68.3	96.6	499.1
1980	1258.0	4291.5	1968.2	1477.9	259.0	119.8	200.0	663.6
1985	1118.0	4424.3	2281.2	2463.4	307.1	195.3	316.6	849.2

^a See Section V.

The aggregate labor index is calculated using the straightforward CES function

$$L = (a_1 C_1^\theta + \dots + a_7 C_7^\theta)^{1/\theta} \quad (12.1)$$

where

$$\theta = (\sigma - 1)/\sigma$$

σ = elasticity of substitution

C_i = number of workers in labor category i

and the a_i are constants.

For Colombia the a_i are calculated using 1964 census data and information on relative wage rates (see Section V). There is at present no reliable estimate for σ , and so the calculation of the labor index is made for a range of reasonable values of this parameter. There exist more sophisticated forms of the CES function, notably the two-level version introduced by Sato (1967), which permits a partial relaxation of the assumption of a single elasticity of substitution between any two types of labor.⁷ However, in the Colombian case, given the data limitations, it has appeared advisable to keep the form of the index as simple as possible. (The appendix to this chapter discusses further problems in the use of this aggregate labor index.)

Table 12.5 shows some projections of the categories of the labor force for some of the years of the planning period (based on underlying projections of the enrollment in the different branches of the educational system), and the aggregate labor index calculated on the assumption that the elasticity of substitution is equal to 6.

V. The Projection of Wages

Section IV described the estimation of an aggregate index for labor over the planning period. The next step is to use this index in order to project the marginal productivity of each category of labor using equation (12.2). (Some of the implications of this equation are discussed in the appendix to this chapter.)

$$w_i = \frac{dY}{dC_i} = \frac{\partial Y}{\partial L} \cdot \frac{dL}{dC_i} \quad (12.2)$$

where

w_i = marginal product of labor category i

Y = aggregate output

7. Bowles (1968) has estimated such a function using three types of labor and subaggregating two of them.

The term dL/dC_i can be calculated by differentiating equation (12.1). The projection of the value over time of the term $\partial Y/\partial L$ is less straightforward. One may expect it to be a decreasing function of L and an increasing function of the supplies of other factors of production, for example, capital. One may also expect it to be an increasing function of time, *ceteris paribus*, as a result of the effects of what may loosely be termed "technical progress."

In order to project the value of the term $\partial Y/\partial L$, it is therefore essential to construct some sort of aggregate production function. An attempt was made to estimate for Colombia the coefficients of a Cobb-Douglas function using regression analysis. This was abandoned when it was found that an exponential time trend by itself would explain 99.6 percent of the variance in production over an observation period of 13 years and that it was highly collinear with the other independent variables used.

With some reluctance the function⁸

$$Y = AL^\theta e^{\lambda t} \quad (12.3)$$

has been used instead. The term $e^{\lambda t}$ is intended to cover all sources of growth of output other than labor, λ being the total rate of growth due to these sources. It is not possible to predict with any confidence the value of λ for Colombia, and hence all the calculations have been repeated for a range of values for this parameter. The results obtained in each case are therefore conditional on the particular value of λ associated with them. The higher the value of λ , the faster is the projected growth of GDP and thus of the demand for labor, and hence the greater is the need for improving the educational level of the labor force and the greater is the rate of return to education.

The marginal product of each category of labor can now be calculated using equations (12.1), (12.2), and (12.3).

$$w_i = a_i \beta Y C_i^{\theta-1} L^{-\theta} \quad (i = 1, \dots, 7) \quad (12.4)$$

where all the symbols are as defined above.

The values of the parameters a_i were estimated by using equation (12.4) and the values of the w_i and the C_i in 1964.

$$w_i = \frac{a_i \beta Y C_i^{\theta-1}}{\sum_j a_j C_j^\theta} \quad (i = 1, \dots, 7)$$

$$w_i \sum_j a_j C_j^\theta = a_i \beta Y C_i^{\theta-1} \quad (i = 1, \dots, 7)$$

These equations are homogeneous in the a_i and therefore possess an infinite number of solutions if consistent, and no solution at all if not consistent. Consistency is proved by multiplying equation i by C_i and summing:

$$\sum_i (w_i C_i \sum_j a_j C_j^\theta) = \sum_i a_i \beta Y C_i^\theta$$

since

$$L^\theta \sum_i w_i C_i = L^\theta \beta Y$$

Table 12.6 shows the projection of the wage rates for the different categories, using the projection of their numbers shown in Table 12.5 and $\sigma = 6$ and $\lambda = 0.04$.

8. The average share of labor in GDP in recent years, 0.55, has been used to estimate β .

Table 12.6. Example Projection of the Wage Rates for the Seven Labor Categories, Sample Years (thousand pesos per year)

Year	Category						
	1	2	3	4	5	6	7
1970	1.74	2.50	3.74	6.11	14.38	18.54	24.88
1975	1.99	2.68	4.17	6.30	16.22	18.33	24.66
1980	2.27	2.96	4.46	6.51	17.99	18.81	24.61
1985	2.64	3.36	4.95	6.81	19.92	19.75	25.96

In Table 12.5 labor category 6 is projected to grow sixfold over the period 1970-1985, and as a result by the latter date its shadow wage would fall below that of category 5. In reality one would expect the declining profitability of 3 years of higher education to encourage potential students either to opt for professional studies leading to category 7 instead of technical studies, or not to enter higher education at all but to go straight into the labor force on graduating from secondary school.

VI. Calculating the Rate of Return to Education

The value of education has many components, some of them "economic," like the increase in the productivity and the occupational mobility of an individual, some of them "noneconomic," like his cultural enrichment and the satisfaction he derives from the improvement in his social status. Of these only the increase in the marginal product of an individual is readily susceptible to measurement,⁹ and for this reason the analysis below is confined to this subcomponent.¹⁰

Section II described how one can calculate the impact of a cohort of 100 students entering the first grade of each level of the educational system. The calculations were described in detail for secondary education. The impact was estimated in real terms: the number of teachers required, the number of graduates produced, the number of drop-outs generated, the stock of capital required. Using these figures alone, it is impossible to evaluate the worth of the educational system. They must be converted to social-value terms by multiplying them by the relevant shadow prices calculated in Section V.

This yields a series of benefits and costs for each year from the date of entry of the cohort into secondary school until the retirement of the last of its members from the labor force. The rate of return is then that rate of discount for which the net present value of the series is zero.¹¹

9. And this only at the expense of assuming that the marginal product of an individual is equal to his wage. For lack of a better alternative, this assumption is used here.

10. The omission of the other components therefore constitutes a downward bias in the calculation of the value of education in this study. A bias in the other direction should also be noted. In most countries a positive correlation exists between the innate ability of an individual and the education he receives. Thus to some extent salary differentials ascribed to education are in fact due to differences in ability. However, it appears that in Colombia this correlation is relatively weak, and no attempt is made here to adjust for it.

11. In principle such a discount rate may not exist; if it does exist, it may not be unique. The latter problem was encountered in the calculations for Colombia; when the former occurred, the economic interpretation was clear.

There are five sources of cost:

1. *Opportunity cost to society of withdrawing 100 primary graduates from the labor force and putting them into secondary education.* The actual deduction from labor category 3 (the category to which primary graduates would be assigned if they entered the labor force instead of enrolling in secondary education) is less than 100 because a large proportion would not have entered the labor force in any case. The estimated participation rate for labor category 3 is 56.4 percent, and this figure is used in the estimation of the cost. Hence the opportunity cost in year u of enrolling 100 primary graduates in secondary school in year t ($u \geq t$) is $56.4 \times$ the wage of a category 3 worker in year u .

2. *Cost of secondary-school educated teachers.* In Section II it was shown that the number of teachers with secondary-school training required by a cohort of 100 students entering secondary school in year t would be 4.57 in year t , 3.27 in year $t + 1$, and 2.63, 2.04, 1.53, 1.13, 0.29, 0.05, 0.01 in years $t + 2$ through $t + 8$. The decline in the number of teachers required during the first 6 years is due to the reduction in the size of the cohort caused by desertion. In the seventh year the number is reduced still further with the graduation of those students who have gone through secondary school without dropping out or repeating a grade. By the ninth year all but a fraction of hardy triple-repeaters have left secondary school, and the number of teachers required is negligible. The social cost of these teachers in year u is equal to the number required in that year multiplied by the wage for that year for the labor category 5, to which these teachers belong.

3. *Cost of university educated teachers.* The calculation of the cost of university educated teachers is made in the same manner as that of the secondary-school educated teachers. In this case the shadow price used to value them is the marginal product of the labor category 7, the category to which workers with this level of education belong.

4. *Overheads.* In addition to teachers' salaries there is a certain amount of expenditure on administration, maintenance, and materials. It is assumed that this will continue to bear the historically observed relationship to expenditure on salaries.

5. *Capital costs.* The cost of fixed capital is calculated on an implicit cash flow basis. The stock of capital required by a cohort of 100 students entering secondary school in year t is calculated and registered as an expenditure in year t . By year $t + 1$ part of the cohort has dropped out, and the amount of capital required has diminished. The reduction in capital is then registered as a receipt for year $t + 1$, after deducting from it a charge for depreciation. In the succeeding years the rest of the capital will be returned as the cohort is reduced by further desertion and then, in years $t + 6$ onward, graduation. The cost of capital is thus a series consisting of one large expenditure followed by a number of small receipts whose total is less than the expenditure by the total of depreciation charges. The net discounted cost is thus an increasing function of the discount rate used.

The benefit derived from entering a cohort of 100 students in secondary school is the value of their earnings after they have left that level of education. During the first four grades 68.9 members of the cohort will drop out and will therefore be assigned to labor category 4. During the last two grades 8.4 will drop out and will be assigned to category 5. The remaining 22.7 will graduate, and their value will again be the marginal product of category 5. (Some of the students who graduate will proceed to

higher education and have their marginal products increased further; but this fact is not relevant to the estimation of the benefits of the secondary school system.)

Table 12.7 shows the present discounted values of each of the series of costs and benefits of entering 100 students in the first grade of secondary education in 1969, using the example wage projections in Table 12.6 and two different discount rates. With a discount rate of 5 percent the net discounted value per student is 52,782 (constant 1958 pesos); with a discount rate of 20 percent the net value falls to 342 pesos. It can therefore be seen that in this example calculation, the rate of return to entering an additional student in the first grade of secondary education is just over 20 percent.

These calculations can be repeated for students enrolling in the first grade of secondary school in 1970 and in subsequent years. The rate of return to secondary education will change from year to year, reflecting principally the changes in the shadow wages for categories 3, 4, and 5 of the labor force, these being the most important shadow prices used in estimating the benefits and the costs associated with this educational level.

Similarly these calculations may be made for the other branches of the educational system. Table 12.8 shows typical estimates of the rate of return to enrolling an additional student in primary, secondary, and higher education for 1969, 1975, 1980, and 1985.

From Table 12.7 it may be observed that the direct cost of secondary education, that is, the salaries of teachers, overheads, and the cost of fixed capital, is considerably smaller than the discounted values of the earnings of the workers withdrawn from category 3 and of the weighted earnings of those who graduate or drop out from secondary school. It should therefore be evident that the estimate of the rate of return

Table 12.7. Present Discounted Value of the Costs and Benefits of Entering 100 Students in the First Grade of Secondary Education in 1969—Example Calculation^a (thousand constant 1958 pesos)

	Discount rate	
	5 percent	20 percent
Costs		
Lifetime earnings of category 3 workers	4832.1	1169.3
Secondary-school educated teachers	208.1	168.4
University educated teachers	235.7	192.4
Overheads	259.2	210.7
Capital cost	55.9	114.6
Total	5591.0	1855.4
Benefits		
Earnings of 68.9 drop-outs to category 4	3675.4	879.0
Earnings of 3.4 drop-outs to category 5	2025.5	309.9
Earnings of 22.7 graduates	5168.3	700.7
Total	10869.2	1889.6
Net value	5278.2	34.2

^a Assumptions: $\sigma = 6$, $\lambda = 0.04$, enrollments grow at historical rates.

Table 12.8. Rate of Return to the Additional Enrollment of One Student in Primary, Secondary, and Higher Education, Selected Years—Example Calculation^a

Year	Primary	Secondary	Higher
1969	21.1	20.7	7.4
1975	20.7	20.3	5.2
1980	20.5	19.5	3.4
1985	19.8	17.8	0.9

^a Assumptions: $\sigma = 6$, $\lambda = 0.04$, enrollments grow at historical rates.

to secondary education is at least as sensitive to the assumptions used for projecting the earnings streams as to those used for calculating the direct cost. In the case of higher education the discounted values of the earnings are very much greater than the direct cost, and the rate of return is not much affected by substantial changes in the latter. In the case of primary education the direct cost is more important.

VII. Optimizing the Growth of the Educational System

In the example calculation in Section VI the rate of return to entering an additional student into the first grade of secondary school in 1969 is just over 20 percent. This fact implies that if the social discount rate were 20 percent or less, it would profit society to increase the entry for that year above the number shown in the original projection. This would have the effect of increasing the supply of categories 4 and 5 labor in the future and, hence, of reducing the shadow wages of those categories. At the same time the number of primary school graduates entering labor category 3 in that year would be decreased, causing a slight rise in the shadow wage of that category. Both these effects would tend to reduce the difference between the shadow wages of categories 4 and 5 and the shadow wage of category 3, with the result that the marginal rate of return to secondary education would decline. As long as the rate of return to adding an additional student to the enrollment in the first grade is greater than the social discount rate, the enrollment ought to be increased. If it should happen that the rate of return is less than the social discount rate, this would imply that society is taking a loss on educating the marginal students, and the enrollment should be cut back.

Ideally the enrollment should be adjusted so that the rate of return to secondary education is equal to the social discount rate. This observation applies to every year in the projection of secondary school enrollment. The enrollment for each year of the planning period should be adjusted so that the rate of return to enrolling an additional student in the first grade becomes equal to the social discount rate for each year.

Similarly, the projection of enrollment in primary and higher education should be adjusted until the marginal rates of return to those levels of education become equal to the social discount for each year. Since the rates of return to the three levels of education are dependent on the projected enrollment of each (through their common dependence on the structure of wage rates), the adjustment of the three enrollments must be done simultaneously or by using an iterative process.

When the adjustments are completed and the rate of return to each educational level is equal to the discount rate for each year, the educational system has achieved its optimal growth path. It should be emphasized that the optimal growth path thus calculated is conditional on the assumptions made about the key parameters, in particular the social discount rate and the elasticity of substitution.

It is possible that the optimal projections may show unrealistic rates of growth for some of the branches, at least for the first few years. When this is the case, it is necessary to examine the factors limiting growth and to estimate the maximum rate. The revised optimal projections then should show for each branch for each year either a rate of return equal to the social discount rate or constrained maximum growth in enrollment over the previous year. As will be seen in Section VIII, this proved to be the case for secondary education in Colombia; an upper bound of 15 percent per year was imposed upon its growth rate, and this bound should be attained for at least the next 10 years unless the elasticity of substitution is very low or the social discount rate is very high.

VIII. Results for Colombia

The first part of this section reports results based on the assumption that secondary and higher education continue to maintain their recent growth rates of 10 percent and 11 percent per year, respectively. The projection for primary education is made on the assumption that universal primary education is achieved by 1985. (For a description of the projection, see Dougherty 1969: appendix 3.) The second part of the section describes the results of following the procedure outlined in Section VII for optimizing the projection of enrollments in secondary and higher education.

Results Based on Present Trends

The estimates of the rates of return to the different levels of education in Colombia are dependent on the assumptions concerning a number of parameters whose values are open to debate. In view of this fact a reference analysis was executed, using plausible values for these parameters, and then a series of sensitivity analyses were made varying each of the parameters in turn.

In the reference analysis σ , the elasticity of substitution, was set at 6; λ , the rate of growth of GDP due to factors of production other than labor, was set at 4 percent per year; and β , the share of labor in GDP, was set at 0.55. The illustrations of the stages in the analysis given in Sections II through VI all assume that the parameters take their reference values. Table 12.4 shows the construction of the projection of labor category 5, with the hypothesis that present enrollment trends in secondary and higher education are maintained. Table 12.5 shows the projections for the other six categories with the same assumption and the projection of the labor index using the reference value of 6 for the elasticity of substitution. Table 12.6 gives the projection of wages corresponding to the projections of the labor categories in Table 12.5 on the assumption that λ takes its reference value of 4 percent per year. Table 12.7 shows the calculation of the rate of return to secondary education, and Table 12.8 shows the rates of return to each of the three levels of education for selected years. In Figure 12.5 these rates of return are plotted over time together with the results of three sensitivity analysis experiments described below.

The parameter which is the most obvious candidate for sensitivity analysis is the elasticity of substitution. Table 12.9 shows the rates of return for each of the levels for the years 1969, 1975, 1980, and 1985 for different values of this parameter. The results for the years 1969 and 1980 have already been plotted in Figures 12.2 and 12.3.

Other important parameters are λ and β , both of which appear in the production function, equation (12.3). Sensitivity analysis showed that for each 1 percent increase in λ , the rates of return to each level of education would increase by between 1.4 percent and 1.6 percent. It was not easy to estimate β from the official Colombian statistics. Its value was calculated to be 0.55, but it is possible that the true value may be lower. Reducing the estimate to 0.45 had the effect of decreasing the rates of return to primary and secondary education by 1 percent and of decreasing the rate of return to higher education by 0.7 percent.

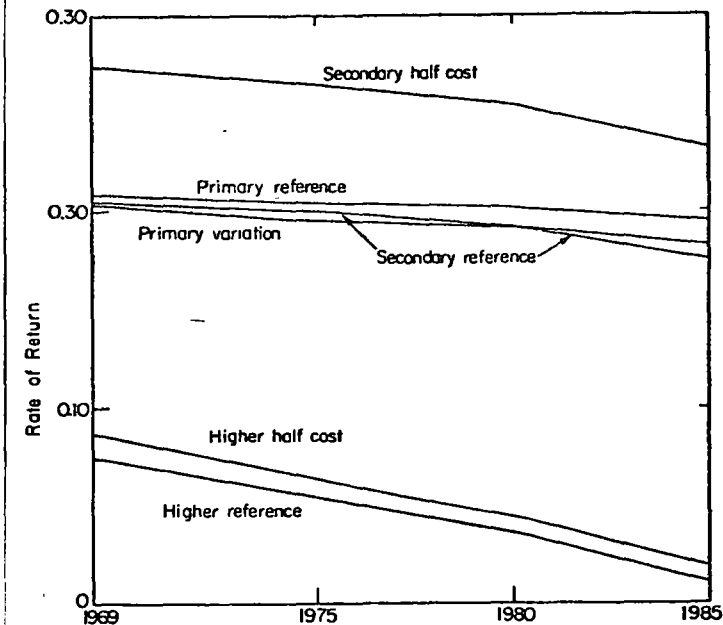


Figure 12.5

Table 12.9. The Rates of Return as Functions of σ

σ	Primary				Secondary				Higher			
	1969 ^a	1975	1980	1985	1969	1975	1980	1985	1969	1975	1980	1985
2					18.8	17.3	14.4	8.8	a	a	a	a
4	19.6	19.0	18.5	17.1	20.2	19.5	18.3	15.9	2.7	a	a	a
6	21.1	20.7	20.5	19.8	20.7	20.3	19.5	17.8	7.4	5.2	3.4	0.9
8	21.7	21.4	21.2	20.7	21.0	20.7	20.1	18.7	8.9	7.3	5.9	4.0
10	22.0	21.7	21.6	21.1	21.1	20.9	20.5	19.3	9.7	8.4	7.3	5.6
∞	23.0	22.9	22.7	22.3	21.8	21.8	21.9	21.5	12.5	12.2	11.9	10.9

^a A negative rate of return. No rate of return existed for primary education in $\sigma = 2$. The present discounted value of the series of benefits and costs was negative for all levels of the discount rate.

The results of three other experiments are shown together in Figure 12.5. The primary variation curve shows the effect over time on the rate of return to primary education of increasing substantially the projection of the enrollment in the first grade. The projection assumes that all 7-year-olds are enrolled in first grade and that their number grows exponentially at a rate of 3.2 percent per year from a base of 700,000 in 1969. An adjustment is made for the backlog of students who in the past failed to enter school at age 7. It is assumed that the additional enrollment in first grade due to this source is 300,000 in 1969 and declines over the next 10 years at a rate of 30,000 per year. In the variation on the enrollment projection the figure of 700,000 was raised to 750,000, its growth rate remained the same, and the additional enrollment due to the backlog was assumed to be 400,000 in 1969, decreasing at a rate of 40,000 per year. The effect on the rate of return is to reduce it but not significantly.

The other two variations assumed that the costs of, first, secondary and, then, higher education were halved. In both of these levels the typical unit is too small. In secondary education the average number of students per school is just over 100. That inevitably means that, given the high drop-out rates, the number of students per grade, and therefore the student-teacher ratio, in grades 4 through 6 are unreasonably small. In higher education the failure of the universities to organize a division of labor among themselves has led to excessive duplication of undersized departments, again meaning unnecessarily high costs and probably a loss of quality as well.

The effect of halving the costs is much more pronounced for secondary education—whose rate of return rises from 20.7 percent to 27.7 percent for 1969—than for higher education—whose rate of return rises from 7.4 percent to 8.6 percent for the same year. This asymmetry reflects the fact that the direct costs of education are smaller, relative to the discounted values of the relevant earnings streams, for higher than for secondary education. It is also partly due to the fact that the rate of return itself is much higher for the latter.

The results of the experiments show that the rates of return to primary and secondary education are high and the rate to higher education is low, assuming that secondary and higher education maintain their present growth rates of 10 percent and 11 percent, respectively, and that enrollment in primary education accelerates so that universal primary education is attained by 1985. Under any plausible set of assumptions, the rates of return to primary and secondary education are both around 20 percent and will remain near that level for the next 15 years. By contrast, unless one assumes a very high elasticity of substitution, the rate of return to higher education is well below 10 percent and can be expected to fall substantially over time. If one assumes as low a value for the elasticity as 4, the rate of return is less than 3 percent in 1969 and rapidly becomes negative.

These conclusions suggest that secondary education should grow faster than its present rate and higher education, more slowly.

Optimizing the Enrollment Growth Rates

For the calculations discussed below the projection of the enrollment in primary education was kept fixed. Colombia would have difficulty increasing the enrollment at a rate faster than that foreseen by the program; and, since the rate of return to primary education remains above the highest social discount rate considered here, it should not be allowed to grow more slowly.

Table 12.10. Optimal Solution: Social Discount Rate Set at 10 Percent (parameters at reference values)

	Growth rates (percents)		
	1969-1978	1979-1988	1989-2008
Secondary	15	max ^a	max ^a
Higher	2	5	5
	Rates of return (percent)		
Year	Primary	Secondary	Higher
1969	22.0	19.4	10.3
1975	22.7	17.1	9.9
1980	23.4	14.8	9.9
1985	24.3	13.0	9.9

^a Until 1982 this was 15 percent per year. After 1982 this was the growth rate of primary school graduates which, according to the primary school projection, is 5.1 percent in 1982 and falls to the population growth rate of 3.2 percent per year by 1990.

In principle, as outlined in Section VII, the optimization process of the enrollment growth rates for secondary and higher education should have been executed on a year-to-year basis over the 40-year planning period. This would have required a search for the optimal values of 80 variables and, given the complexity of the analysis, was not practicable even with the aid of a large computer. In order to simplify the problem, the planning period was divided into three parts—1969-1978, 1979-1988, 1989-2008—and it was assumed that within each part the growth rate of each level of education would be constant.¹² Further, an upper bound of 15 percent per year was put on the growth rate of both levels in the belief that this would be the maximum administratively feasible.

With this drastic reduction in the complexity of the task, it was possible to search for the solutions on a trial-and-error basis. The solutions thus obtained are suboptimal but have the advantage of suppressing the unevenness that year-to-year optimization might have yielded.

The solution using the reference values for the key parameters and a discount rate of 10 percent is shown in Table 12.10. Secondary education grew at the maximum rate until 1982, when the number of students entering secondary school became equal to the number of primary school graduates the previous year. After 1982 the growth of secondary education was limited to the growth of the supply of primary school graduates.

The descent in the rate of return to secondary education is caused by the rapid increase in the supply of category 5 of the labor force, due more to the reduction in the absorption of secondary school graduates by higher education than to the increase in the rate of their formation.

12. The third subperiod was made twice as long as the other two on the ground that the results for those years would be of less interest.

It was assumed that higher education should have a nonnegative growth rate. If the social discount rate is raised to 15 percent, the lower bound of zero growth is attained. The rate of return is 11.6 percent in 1969, and by 1985 it still will not have reached 15 percent. Secondary education grows at its maximum rate for the first period and then should show slightly slower growth¹³ for the few years until it reaches the primary graduate supply constraint.

If the elasticity of substitution is lowered to 4 and the social discount rate set at 10 percent, the growth rate of higher education should be approximately 2 percent in each period. Secondary education should be at its maximum growth rate until it becomes equal to the supply of primary graduates.

Finally, the optimal rate of growth was calculated for higher education, assuming that direct costs could be cut to half their present levels. With the elasticity of substitution equal to 6 and a social discount rate of 10 percent, the optimal growth rate would be roughly 5 percent for each period. This is hardly different from the solution shown in Table 12.10 and indicates again that direct costs are relatively unimportant in the evaluation of higher education.

IX. Conclusions

The extension to the rate of return approach described in this paper has made it possible to calculate in quantitative terms optimal enrollment projections for Colombia. Since the methodology thus provides an alternative to the manpower requirements approach to educational planning, it may be worthwhile to point out the essential differences between the two.

The manpower requirements approach, in its usual fixed coefficients form, implies that there is a zero elasticity of substitution between different categories of labor. The rate of growth of the demand for each type of labor can thus be calculated given the rate of growth of output of each industry and the rate of increase of productivity within it. Given the projection of aggregate demand for each kind of labor, one can derive the need for education. No attempt is made to value this need or to place costs on the manpower bottlenecks or surpluses that would arise if the actual growth of the educational system is different from the required growth. There is therefore no way in which one may evaluate the return to the investment of real resources in education.¹⁴

The present technique assumes that there is sufficient substitutability between different types of labor for their supplies to be absorbed by the labor market. The projection of the educational system determines the supplies, and the demands are equated to them by movements of relative wage rates. The concept of "manpower requirements" thus loses most of its significance. This, of course, does not imply that any projection of the growth of the educational system is as good as another. The technique takes into account explicitly the diminishing returns effect of the growth of the educational system on its own profitability, and this feedback can be used to calculate the optimal enrollment projections and the derived optimal supply projections for the different kinds of labor.

13. The exact rate of growth was not calculated.

14. It could be done if the analysis were imbedded in an optimizing model, for example, a linear programming model. But to my knowledge this has never been done. I am indebted to Roberto Repetto for this insight.

The results for Colombia show that, for the next 10 years at least, the country should accelerate the rates of growth of primary and secondary education and, unless the social discount rate used is very low, should cut back the growth of higher education. Even if the forced march towards universal primary education were implemented, the rate of return to primary school would remain around 20 percent for the next 15 years. Similarly, even if secondary education were to grow at 15 percent per year for the next 10 years, and even if one makes the pessimistic assumptions that the present inefficient student-teacher ratio and the high drop-out rates are not improved, the rate of return would remain around 20 percent for the next 15 years. If it were possible for secondary education to grow at a faster rate without reducing the quality of instruction, this would certainly be justified. Eventually, of course, the growth of secondary education would be limited by the supply of primary school graduates.

On the other hand, the rate of return to higher education is low. If the present growth rate of 11 percent per year were maintained, the rate of return would be less than 10 percent now and would fall over time, probably approaching zero by 1985. If the present mix of courses remains unchanged, higher education should grow at no more than 5 percent per year for the next 10 years if one assumes a social discount rate of 10 percent; it should not grow at all if one assumes a social discount rate of 15 percent. If one were to assume a social discount rate as low as 5 percent, the present growth rate would be justified until 1975 but should be reduced substantially after that date.

It should be remembered that the calculations for higher education were made on the assumption that the present mix of courses will not change. Doubtless, many of the courses yield much higher rates of return than that for higher education as a whole. If these courses were identified and future growth restricted to them, then the university system would be justified in growing faster than suggested in the preceding paragraph.

Finally, it should be emphasized that the analysis here has been confined to the narrowly economic aspects of education. The policy-maker should modify the recommendations above, taking into account the social and political aspects of education, particularly its role in the redistribution of income and in increasing social mobility. Nonetheless, it is unlikely that the basic findings of this paper (that primary and secondary education should be expanded as fast as possible for at least the next 10 years) would be changed by such considerations.

Appendix to Chapter 12 Some Problems with the Use of the Aggregate Labor Index

In the analysis two strong implicit assumptions have been made:

1. separability between labor and all other factors of production in the aggregate production function
2. separability between the different categories of labor with the aggregate labor index

The first assumption is implied by the form of the aggregate production function and the second, by the use of a simple CES function in order to calculate the labor index.

Neither of these assumptions is realistic. The first implies that each category of labor has the same elasticity of substitution with all the factors of production responsible jointly for the term e^M in the production function. In particular it implies that the amount of capital per worker influences the demand for labor as a whole but does not otherwise have any special effect on the demand for an individual category. There is, however, reason to believe that a correlation exists between the capital intensity and the demand for more educated types of labor. The greater the capital intensity, it may be argued, the greater is the sophistication of the technology being used and hence the greater the demand for specialists. The reason for this relationship is the fact that those countries with the greatest stocks of physical capital per capita have been the industrial pioneers and have been responsible for the application of new scientific discoveries to industrial processes. Those countries have also had relatively highly educated labor forces, largely as a result of social pressures; and in consequence the new industrial processes have tended to be designed to make use of the skills available. Hence one may expect a supply-induced joint use of capital and skilled labor in advanced countries to imply a complementary demand for them in less developed countries.¹⁵

The assumption of separability between different categories of labor within the CES function implies that the demand for any given category of labor is a function of the supplies of the other categories but not of the structure of those supplies. However, it is unlikely that the elasticity of substitution is independent of the quantities used. It is even more unlikely that the elasticity is the same for each pair of categories. One would expect it to be an increasing function of the closeness of their educational levels. The use of a two-level CES function would partially overcome this problem, but data for deciding upon groupings of categories and for estimating the elasticity of substitution within each group are lacking in Colombia.

The use of equations (12.1) and (12.3) in the analysis, therefore, reflects a present inability to find superior functions rather than an unawareness of the influences of complementarities on the future structure of wage rates. Empirical research in this area is still in its infancy and is likely to progress slowly because time series on wage rates by level of education, essential for such research, are scarce.

15. The existence of such complementarity, together with relatively fast growth of the more educated categories of labor, would lead to an upward bias in the estimates of the elasticity of substitution between labor categories. This may partially account for the very high elasticities found by Samuel Bowles and Marcelo Selowsky. In fact it would not be surprising if "greater than infinity" estimates of the elasticity were encountered.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



ANALISIS DE INVERSIONES

ANALISIS DE INVERSIONES EN UN PROYECTO
PESQUERO

M. EN I. FERNANDO GOMEZ JARDON

MAYO, 1978.

EL ANALISIS DE INVERSIONES EN UN PROYECTO PESQUERO.

INTRODUCCION.

Se presenta un análisis de inversiones públicas a nivel regional para la rehabilitación de tres lagunas litorales, con objeto de incrementar la actividad pesquera en ellas.

De acuerdo con los estudios técnicos realizados en la zona se ha logrado determinar un importante potencial pesquero que podría aprovecharse mediante la rehabilitación de las lagunas conjuntamente con el establecimiento de un centro de investigación, un programa de extensionismo pesquero y obras de beneficio social que coadyuven con el mejoramiento de los habitantes ribereños.

OBJETIVOS Y METAS.

En el estudio se plantean una serie de obras dentro del marco de objetivos y metas que se extractan a continuación:

Objetivos.

- a) Elevar el bienestar de la población asentada en torno a las lagunas litorales.

- b) Mejorar las condiciones ecológicas de las lagunas estuarinas de la Costa.
- c) Capacitar a la población pesquera.
- d) Ampliar el conocimiento de los recursos pesqueros.
- e) Dotar a la región de infraestructura para facilitar el desarrollo pesquero integral.

Metas.

Concepto.	Situación Actual	Situación Futura
1) Superficie mejorada de lagunas Costeras en Ha.		9,150
2) Producción de camarón en Ton.	266.7	915.0
3) Producción de especies de escama en Ton.	1,096.4	3,482.0
4) Rendimiento unitario de camarón en lagunas estuarinas - - Kg/Ha.	29.1	100.0
5) Valor de la producción pesquera en millones de pesos.	12.9	42.8
6) Nuevos empleos en la actividad pesquera.	-	713
7) Pescadores beneficiados con las obras de infraestructura pesquera.	-	595
8) Pescadores beneficiados con los programas de capacitación.	-	595
9) Embarcaciones adecuadas para la explotación pesquera lagunar.	-	69

10) Caminos nuevos y mejorados en Km.		36
11) Población beneficiada con obras de		
a) Agua potable.	2,000	4,900
b) Saneamiento.	-	5,180
c) Energía eléctrica.	2,000	4,900
d) Casas de salud.	-	5,180
e) Educación primaria.	1,330	1,800

ACCIONES PROPUESTAS.

El proyecto comprende básicamente la rehabilitación de tres lagunas con una superficie total de 9,150 ha: laguna A con 3,700 ha, laguna B con 2,500 ha y laguna C con 2,950 ha. En la A y la C se tiene proyectado establecer un frigorífico y en la B y la C se construirán una fábrica de hielo en cada una de ellas. Además se realizarán obras de bienestar social para la población y se establecerá un centro de investigación y extensionismo Pesquero. En la tabla 1 se muestra el desglose del costo total:

COSTO TOTAL.

El costo total de las obras es de 125 millones y se tiene programado gastarlo durante los cuatro primeros años. Dicho costo se compone en un 73% de inversiones en infraestructura, industrias conexas, equipo, obras de bienestar social y apor

--taciones para la investigación y extensionismo pesquero. El resto lo forman las contingencias y créditos para financiar el programa operativo de un año, que funcionaría como crédito revolvente.

RESULTADOS DE LA EVALUACION.

Para la evaluación económica se obtuvieron los siguientes indicadores:

- 1) Relación beneficio-costos (B/C)
- 2) Tasa interna de retorno (TIR)
- 3) Valor presente del beneficio neto (VPBN)

Estos índices se computaron para el proyecto global como para cada una de las lagunas y de las industrias conexas por separado. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla II.

TABLA I

DISTRIBUCION ANUAL DEL PROGRAMA DE INVERSIONES Y CREDITOS
(MILES DE PESOS)

CONCEPTO	TOTAL	% de la Inversión	AÑO			
			1	2	3	4
	<u>125 022.1</u>		<u>59 882.5</u>	<u>38 495.8</u>	<u>18 525.9</u>	<u>8 117.9</u>
1. Obras de infraestructura pesquera	<u>33 377.4</u>	<u>36.6</u>	<u>25 400.0</u>	<u>7 977.4</u>		
Dragado de canales interiores	4 743.8		4 748.8			
Obras de toma y canales de conducción	2 295.2		2 295.2			
Centros de recepción	731.8		731.8			
Atrasaderos	1 072.5		1 072.5			
Apertura y protección de barras	14 425.0		7 212.6	7 212.4		
Caminos	7 581.6		7 581.6			
Energía eléctrica	2 527.5		1 762.5	765.0		
2. Industria conexas	<u>7 964.8</u>	<u>8.7</u>	<u>7 964.8</u>			
Fábricas de hielo	2 484.8		2 484.8			
Frigoríficos	5 480.0		5 480.0			
3. Equipos y artes de pesca	<u>3 411.3</u>	<u>8.7</u>	<u>3 411.3</u>			
Embarcaciones	1 104.0		1 104.0			

CONCEPTO	TOTAL	% de la inversión	AÑO			
			1	2	3	4
Motores	1 518.0		1 518.0			
Artes de pesca	789.3		789.3			
4. Obras de bienestar social	29 847.6	32.3	4 205.6	16 509.6	8 632.4	
Urbanización y vivienda	21 750.0		2 750.0	12 250.0	6 750.0	
Agua potable y saneamiento	4 107.7		1 455.6	1 702.1	950.0	
Casas de salud	615.0			307.5	307.5	
Escuelas	2 250.0			2 250.0		
Unidades cívicas	624.9				624.9	
5. Investigación científica y extensionismo técnico pesquero.	17 048.5	18.7	3 090.0	4 724.0	4 210.0	5 024.5
Unidad de investigación en acuicultura	14 660.0		3 090.0	4 724.0	2 934.0	3 912.0
Centro de extensionismo técnico pesquero	2 388.5				1 276.0	1 112.5
TOTAL DE LA INVERSION EN OBRAS Y PROGRAMAS	91 149.6	100.0	44 071.7	29 211.0	12 842.4	5 024.5
CONTINGENCIAS POR ESCALAMIENTO DE PRECIOS DURANTE EL PERIODO DE EJECUCION.	23 800.5		6 610.8	8 412.8	5 683.5	3 093.4
CREDITOS NECESARIOS PARA FINANCIAR EL PROGRAMA PESQUERO	10 072.0		9 200.0	872.0		

TABLA II
INDICADORES ECONOMICOS.

	Inversiones miles de pesos	B/C	TIR	VPBN miles de pesos
Proyecto global	91,149.6	1.71	30.57	88,076
Laguna A	30,518.9	2.20	51.06	50,746
Laguna B	32,431.8	1.14	15.30	5,632
Laguna C	27,934.4	1.88	47.31	32,247
Frigorífico en A	2,740.0	3.62	68.07	15,615
Frigorífico en C	2,740.0	2.01	35.21	4,804
F. de hielo en B	1,242.4	2.07	37.10	1,684
F. de hielo en C	1,242.4	2.07	37.10	1,684

La factibilidad financiera del proyecto se analizó a nivel de pescador obteniéndose individualmente la cuenta de caja de sus ingresos y gastos derivados del proyecto en cada una de las tres lagunas.

Para cada año del funcionamiento del proyecto se obtuvo su saldo, de la siguiente manera: A los ingresos totales de cada pescador se le restaron los intereses correspondientes al 12% de los costos de producción y los costos por servicios (5% sobre el valor de la producción).

A lo que quedó se le agregó el saldo del año anterior y se le restaron las cuotas que cada pescador tendría que pagar - por gastos de inversión y operación de las obras productivas - vinculadas directamente con la actividad pesquera. Con esto resulta el saldo para el año siguiente, el cual, en todos los casos - y a lo largo de la vida útil del proyecto resultó positivo.

La generación de empleos se sintetiza en el cuadro siguiente:

TABLA III
NUMERO DE EMPLEADOS

Laguna	Total de Pescadores.	en la captura.	reparaciones	oficinas	Comerc. y difusión.
A	240	224	8	4	4
B	165	152	5	4	4
C	190	176	6	4	4
Total	595	552	19	12	12

A partir de lo anterior los analistas de este proyecto concluyen: "Los indicadores muestran que el programa de inversiones propuesto en el Plan presenta una amplia viabilidad financiera y una sólida justificación económica".

TABLA IV

EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

Relación Beneficio-Costo

(Miles de pesos)

BENEFICIOS

COSTOS

PESQUEROS																		
Años	Actua- les	Futu- ros	Incre- mentos	Frigorí- ficos	Fáb.de hielo	Total de l/bene- ficios	Beneficios actualiza- dos 12 %	Obras de Infraest. Pesquera	Obras de Bienestar - Social	Extens. Técnico Pesquero	Unid.de In- vestigación d/acuacult.	Frigorí- ficos	Fábricas de hielo	Equipo de pesca	Extens. Téc. Pesquero	Opera ción y Mant.	Total de costos	Costos actuali- zados 12%
1	6 701.5	12 615.2	5 913.7			5 913.7	5 280.1	25 400.0	4 205.6		3 090.0	5 480.0	2 484.8	3 411.3			44 071.7	39 343.7
2	6 701.5	19 939.6	13 238.1	1 861.7	1 488.0	16 587.8	13 223.7	7 977.7	16 509.6		3 746.0	1 021.0	156.0	789.3		2 946.8	33 206.1	26 471.7
3	6 701.5	25 315.5	18 614.0	3 671.8	1 488.0	23 773.3	16 921.7		8 632.4	213.5		981.0	156.0	789.3	1 062.5	4 902.8	16 647.5	11 849.4
4	6 701.5	28 633.7	21 932.2	4 296.5	1 488.0	27 716.7	17 614.5			50.0		901.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 839.6	5 617.7
5	6 701.5	32 377.0	25 675.5	5 922.8	1 488.0	33 986.3	18 774.1					990.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 878.6	5 038.0
6	6 701.5	33 734.0	27 032.5	6 371.8	1 488.0	34 892.3	17 678.6					995.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 883.6	4 591.0
7	6 701.5	34 603.3	27 906.8	6 568.9	1 488.0	35 963.7	16 268.2					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	4 020.0
8	6 701.5	35 005.4	28 303.9	6 568.9	1 488.0	36 360.8	14 685.5					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	3 590.0
9	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	13 138.4					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	3 205.3
10	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	11 730.7					1 000.0	156.0	3 411.3	1 062.5	5 880.8	11 510.6	3 700.1
11	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	10 473.3					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	2 555.3
12	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	9 351.6					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	2 261.5
13	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	8 349.7					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	2 037.0
14	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	7 455.1					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 818.8
15	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	6 656.3					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 623.9
16	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	5 943.1					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 449.9
17	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	5 306.4					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 294.6
18	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	4 737.8					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 155.9
19	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	4 230.0					1 000.0	156.0	789.3	1 062.5	5 880.8	8 888.6	1 032.0
20	6 701.5	35 078.3	28 376.8	6 568.9	1 488.0	36 433.7	3 777.0					1 000.0	156.0	3 411.3	1 062.5	5 880.8	11 510.6	921.5
Sumas	134 030.0	643 168.3	509 138.3	114 089.2	28 272.0	651 499.5	211 586.5	33 377.4	29 347.6	263.5	6 836.0	24 338.0	5 448.8	23 052.0	19 125.0	10 823.2	250 211.5	123 520.1

RELACION BENEFICIO COSTO 1.71
TASA INTERNA DE RETORNO 30.57 %
CAPITAL EN AÑOS 6.5
V.P.B.N. 88 076.4

TABLA V
BENEFICIOS DE LA CAPTURA ACTUAL

Laguna	Especie	Valor miles \$/Ton.	Costo de captura miles \$/Ton.	Beneficio miles de \$/Ton.	Vol. capturado Ton.	Beneficio total miles de \$/Ton.
A	Camarón	24.0	4.5	19.5	$\frac{677.1}{118.4}$	$\frac{3\ 146.0}{2\ 308.0}$
	Escama	6.0	4.5	1.5	558.7	838.0
B	Camarón	24.0	6.4	17.6	$\frac{142.5}{37.5}$	$\frac{618.0}{660.0}$
	Escama	6.0	6.4	-0.4	105.0	-42.0
C	Camarón	24.0	4.2	19.8	$\frac{539.9}{109.2}$	$\frac{2\ 937.5}{2\ 162.2}$
	Escama	6.0	4.2	1.8	430.7	775.3
Suma					<u>1 359.5</u>	<u>6 701.5</u>

TABLA VI
BENEFICIOS TOTALES FUTUROS
(miles de pesos)

Año	Volum capturado Ton.	Valor de la captura	Costo de la captura	Beneficios totales
1	2 701.1	21 007.2	8 392.0	12 615.2
2	3 155.2	28 456.8	8 517.2	19 939.6
3	3 523.0	33 860.4	8 544.9	25 315.5
4	3 820.0	37 329.0	8 695.3	28 633.7
5	4 048.4	39 860.4	7 483.4	32 377.0
6	4 199.2	41 485.2	7 751.2	33 374.0
7	4 297.0	42 252.0	7 643.7	34 608.3
8	4 381.5	42 759.0	7 753.6	35 005.4
9	4 397.0	42 852.0	7 773.7	35 078.3
10-20	4 397.0	42 852.0	7 773.3	35 078.3

A continuación y a manera de ilustración, se presenta - la forma en que se hicieron los cálculos para la obtención de los indicadores económicos correspondientes al proyecto global, donde se describa con detalle el cálculo de los beneficios actuales y - futuros resultantes de la pesca en las 3 lagunas. Posteriormente se describe la evaluación parcial del frigorífico. De la laguna A para terminar con algunos comentarios y recomendaciones sobre este análisis de inversiones.

EVALUACION DEL PROYECTO GLOBAL.

En la tabla IV se presentan los costos y beneficios de - todo el proyecto así como su actualización financiera, a partir - de los cuales se calcularon los indicadores económicos que aparecen en la parte inferior de dicha tabla.

En lo que a beneficios se refiere, estos corresponden a los obtenidos con la actividad pesquera y con la operación de los frigoríficos y las fábricas de hielo.

CALCULO DE BENEFICIOS RESULTANTES DE LA PESCA.

Estos beneficios se obtuvieron de la diferencia entre los beneficios esperados con el proyecto y los que actualmente se - tienen.

Beneficios Actuales.

Para calcular los beneficios actuales se estimó un beneficio por tonelada de camarón y escama capturadas a partir de la diferencia entre su valor unitario de captura y el costo de capturar una tonelada de cada producto. Posteriormente dicho beneficio unitario se multiplicó por los volúmenes actualmente capturados para obtener el beneficio actual. Todo esto se presenta en la tabla V, cuyo cálculo se hizo a partir de los siguientes aspectos.

El valor promedio en el mercado de playa de los productos en cuestión fue:

	\$/Kg.
Camarón	24.0
Escama	6.0

Los costos de captura se estimaron considerando que cada uno de los cayucos son operados actualmente por 2 pescadores durante 200 días al año con un sueldo diario de \$37.5 por pescador. Por lo tanto los gastos anuales por cayuco serían:

	<u>Pesos</u>
Mano de obra $37.5 \times 2 \times 200$	15,000
Equipo y artes de pesca.	2,350
Depreciación anual del cayuco.	500
<u>GASTOS ANUALES</u>	<u>17,850</u>
POR CAYUCO. - - - -	

Con el gasto por cayuco y conociendo el volumen medio anual capturado por cayuco en cada una de las lagunas se puede obtener el costo por kilo de capturar camarón y escama en cada laguna.

Laguna	Vol. capturado por cayuco. Kg.	Costo de la captura \$/Kg.
A	4,000	4.5
B	2,800	6.4
C	4,200	4.2

A partir de una investigación directa en las áreas de pesca actual se obtuvieron los siguientes volúmenes de captura-media anual.

Laguna	Volúmenes anuales capturados (ton).		
	Total	Camarón	Escama
A	677.1	118.4	558.7
B	142.5	37.5	105.0
C	539.9	109.2	430.7
Suma	1,359.5	265.1	1,094.4

Beneficios Futuros.

Estos beneficios se obtuvieron deduciendo al valor de mercado de la captura esperada el costo correspondiente a dicha captura, según se muestra en la tabla VI.

Para el cálculo de los volúmenes de captura esperados fue preciso hacer algunas hipótesis de los rendimientos por ha. que se podrían obtener de camarón y de escama de acuerdo con experiencias obtenidas en otras regiones similares. De igual manera se determinaron los períodos de maduración de los proyectos, después de los cuales se considera que los rendimientos se estabilizarán.

Cabe hacer mención que se ha considerado la posibilidad de que las embarcaciones que trabajen en el futuro en las lagunas también se dediquen 80 días al año, de un total de 245, a la pesca ribereña de especies tales como lisa, jurel, pargo, guachinango, tiburón y atún. Para este tipo de captura los rendimientos esperados también se hicieron proporcionales a las superficies de las lagunas.

En la tabla VII se presentan las hipótesis sobre los períodos de maduración y de los crecimientos de los rendimientos por especie durante dichos períodos.

El valor de la captura futura se estimó mediante los precios de mercado de las especies que se pescarían y de la composición por especies del volumen esperado.

Los costos de captura se determinaron a partir de las

- características de operación de las embarcaciones que se consideraron idóneas para dicha captura y cuyo número se obtuvo en función de los volúmenes esperados. De esta manera resultaron 69 embarcaciones, considerando que trabajarían dos turnos durante 165 días de pesca dentro de las lagunas y un turno para la pesca ribereña durante 80 días.

Este frigorífico está proyectado para dar servicio de congelación de camarón a las lagunas A y B con una capacidad comercial de 3.2 ton/turno de 8 hrs. Iniciará el primer año de operación congelando 94 ton hasta alcanzar, en el año 6, un volumen anual de congelación de 366 ton.

Los gastos anuales requeridos para la congelación del camarón aparecen en la tabla VII.

Sabiendo que el precio del camarón congelado LAB en planta es de \$37.70/Kg. es posible calcular los costos y beneficios resultantes del establecimiento del frigorífico de diferentes maneras. En este ejemplo se presentan dos alternativas que se ilustran en las tablas IX y X.

Alternativa X.

Los beneficios se calculan, restando al valor de las ventas únicamente el costo de producción (llamado así en la tabla VIII). Por consiguiente para el cálculo de los costos se compu-

--taron junto con los gastos en infraestructura, los llamados - costos de Operación, conservación y mantenimiento. (Columnas C y D de la tabla VIII).

Alternativa Y.

Los beneficios se obtuvieron deduciendo al valor de las ventas todos los costos de la tabla VII (producción, operación, - conservación y mantenimiento). Por su parte en los costos solo se consideró a las inversiones en infraestructura.

Como se puede observar en la parte inferior de la tabla X, de los indicadores económicos obtenidos para ambas alternativas, el único que sufre modificaciones substanciales (a pesar de - 3.62 a 7.38) es la relación beneficio costo", la cual resulta afectada cada vez que se adopta un criterio diferente para la clasificación de los beneficios y costos.

TABLA VII

Concepto Laguna	Laguna Camarón Escama		Escama Ribereña												
A Período de maduración (años)	5	6	3												
Rendimientos Kg/Ha.	<table border="0"> <tr> <td>{ Actuales</td> <td>32</td> <td>151</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>{ Año 1</td> <td>32</td> <td>177</td> <td>123</td> </tr> <tr> <td>{ Estabilizado</td> <td>100</td> <td>240</td> <td>141</td> </tr> </table>			{ Actuales	32	151	-	{ Año 1	32	177	123	{ Estabilizado	100	240	141
{ Actuales	32	151	-												
{ Año 1	32	177	123												
{ Estabilizado	100	240	141												
B Período de maduración (años)	7	9	7												
Rendimientos Kg/Ha.	<table border="0"> <tr> <td>{ Actuales</td> <td>15</td> <td>42</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>{ Año 1</td> <td>15</td> <td>85</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td>{ Estabilizado</td> <td>100</td> <td>240</td> <td>142</td> </tr> </table>			{ Actuales	15	42	-	{ Año 1	15	85	71	{ Estabilizado	100	240	142
{ Actuales	15	42	-												
{ Año 1	15	85	71												
{ Estabilizado	100	240	142												
C Período de maduración (años)	4	4	3												
Rendimientos Kg/Ha.	<table border="0"> <tr> <td>{ Actuales</td> <td>37</td> <td>146</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>{ Año 1</td> <td>37</td> <td>205</td> <td>111</td> </tr> <tr> <td>{ Estabilizado</td> <td>100</td> <td>240</td> <td>139</td> </tr> </table>			{ Actuales	37	146	-	{ Año 1	37	205	111	{ Estabilizado	100	240	139
{ Actuales	37	146	-												
{ Año 1	37	205	111												
{ Estabilizado	100	240	139												

TABLA VIII
GASTOS DEL FRIGORIFICO
(Miles de pesos)

C O N C E P T O.	A Ñ O S					
	1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
COSTO DE PRODUCCION	<u>2,726</u>	<u>5,054</u>	<u>7,520</u>	<u>8,038</u>	<u>9,098</u>	<u>9,854</u>
Materia prima	2,304	4,512	6,848	7,296	8,256	8,832
Mano de obra	62	82	112	122	132	142
Energía eléctrica y combustible.	100	150	200	210	250	270
Varios	260	310	360	410	450	510
COSTO DE OPERACION	<u>590</u>	<u>490</u>	<u>490</u>	<u>574</u>	<u>574</u>	<u>574</u>
Venta y propaganda	200	100	100	100	100	100
Administración	390	390	390	474	474	474
CONSERVACION Y MANTENIMIENTO	<u>20</u>	<u>25</u>	<u>30</u>	<u>35</u>	<u>40</u>	<u>45</u>
SUMAS.	<u>3,336</u>	<u>5,569</u>	<u>8,040</u>	<u>8,647</u>	<u>9,712</u>	<u>10,373</u>

TABLA IX
COSTOS Y BENEFICIOS
(Miles de pesos).

Año	Volum Produc. Ton.	A	Costos			B e n e f i c i o s	
		Valor de las ventas	B Produc.	C Oper.	D Conserv. y mantenim.	X A - B	Y A - (B + C + D)
1	94	4,182.7	2,726	590	20	1,456.7	846.7
2	187	7,425.8	5,054	490	25	2,371.8	1,856.8
3	250	9,927.5	7,520	490	30	2,407.5	1,887.5
4	304	12,071.8	8,038	574	35	4,033.8	3,424.8
5	342	13,580.8	9,098	574	40	4,482.8	3,868.8
6-15	366	14,533.9	9,854	574	45	4,679.9	4,060.9

TABLA X
RELACION BENEFICIO-COSTO
FRIGORIFICO A

Años	Beneficios		Actualización al 12%		Costo del Frigorífico	Operación y Conservación	Costo Total	Actualización el 12%	
	X	Y	X	Y				X	Y
1					2,740.0		2,740.0	2,446.4	2,446.4
2	1,456.7	846.7	1,161.3	675.0		610.0	610.0	486.3	
3	2,371.8	1,856.8	1,688.2	1,321.6		515.0	515.0	366.6	
4	2,407.5	1,887.5	1,530.0	1,199.5		520.0	520.0	330.5	
5	4,033.8	3,424.8	2,277.9	1,943.3		609.0	609.0	345.6	
6	4,482.8	3,868.8	2,271.3	1,960.0		614.0	614.0	311.1	
7	4,679.9	4,060.9	2,116.9	1,836.9		619.0	619.0	280.0	
8	4,679.9	4,060.9	1,890.1	1,640.1		619.0	619.0	250.0	
9	4,679.9	4,060.9	1,687.6	1,464.4		619.0	619.0	223.2	
10	4,679.9	4,060.9	1,506.8	1,307.5		619.0	619.0	199.3	
11	4,679.9	4,060.9	1,345.4	1,167.4		619.0	619.0	177.9	
12	4,679.9	4,060.9	1,201.2	1,042.3		619.0	619.0	158.9	
13	4,679.9	4,060.9	1,072.5	930.7		619.0	619.0	141.9	
14	4,679.9	4,060.9	957.6	830.9		619.0	619.0	126.7	
15	4,679.9	4,060.9	855.0	741.9		619.0	619.0	113.1	

SUMAS 56,871.7			21,572.8	18,061.5	2,740.0	8,439.0	11,179.0	5,957.5	2,446.4
----------------	--	--	----------	----------	---------	---------	----------	---------	---------

Relación Beneficio-Costo $\frac{x}{x}$ 3.62 - 7.38

Tasa interna de retorno. 68.07%

VPBN 15,615.3 15,615.1

COMENTARIOS METODOLOGICOS.

- 1) Resulta ventajoso utilizar el VPBN en la selección de proyectos mutuamente exclusivos.

Como se puede apreciar fácilmente en las tablas IX y X la relación beneficio-costo puede hacerse variar fuertemente si se cambian los criterios para computar los costos y beneficios del proyecto. En el ejemplo del frigorífico, se puede apreciar que con el criterio "X" en el que como costos se consideran además de la inversión los costos de operación (que corresponden principalmente a sueldos del personal administrativo) y donde se calcularon deduciendo del valor total de ventas únicamente el costo que se denomina de producción, compuesto por los gastos directamente ligados a la producción. Se tiene en este caso una relación $B/C = 3.62$.

En cambio con el criterio "Y" se obtiene una relación $B/C = 7.38$ debido a que como costo solo se considera a la inversión de 2.74 millones y en el cálculo de los beneficios se deducen del valor total de ventas todos los demás gastos del frigorífico.

A pesar de lo anterior puede apreciarse que el valor del índice VPBN, se mantiene constante e igual al 15,615.3 en ambos casos (X y Y).

Por otro lado, con el índice TIR debe tenerse mucho cuidado al emplearlo para comparar proyectos ya que frecuentemente se le considera equivalente a una tasa de interés a la que estaría trabajando el dinero invertido en el proyecto en cuestión. Ello sólo es cierto cuando el dinero producido por el proyecto a lo largo de su vida útil sea reinvertido en otro proyecto similar para que siga produciendo con la misma tasa de interés ya que de lo contrario la tasa real a que se encuentra sujeta la inversión dependería de las otras alternativas de inversión.

La situación se torna más grave cuando se trata de comparar varios proyectos con distinta TIR ya que, como se ha mencionado, la tasa real del rendimiento de las inversiones variará con respecto a la TIR de manera diferente dependiendo de las opciones de inversión que cada proyecto tenga en el momento de irse recibiendo los beneficios.

Finalmente, el índice VPBN aparte de no tener los

- problemas arriba mencionados permite contar con la exacta dimensión en cuanto a monto de beneficios - se refiere, porque no es lo mismo invertir en un proyecto altamente rentable con poco beneficio que en un proyecto que no sea tan rentable como el anterior pero con un beneficio considerable.

Resulta muy útil el VPBN cuando se busca distribuir - un monto dado de inversiones entre una serie de proyectos definidos ya que con él se pueden elegir rápidamente aquellos proyectos que, estando dentro de las - posibilidades presupuestarias, rinden los mayores beneficios y a la vez se pueden descartar los que aún - que proporcionan grandes beneficios rebasen la disponibilidad financiera.

- 2) El Optimo parcial no necesariamente corresponde al -
óptimo global y ni siquiera debe considerarse a priori -
como un Sub óptimo.

En el ejemplo que se ha descrito del desarrollo de las - tres lagunas, se habla de las 'ventajas' que se obtendrían - al emprender esa estrategia de inversión, no se cuenta - con ninguna referencia para tener idea de la prioridad -

-del proyecto respecto a las prioridades tendrían el desarrollo de otras regiones que podría suceder que los beneficios obtenidos en otras partes fueran de tal manera considerables que las obras en cuestión resultarían -- insignificantes. De ahí la necesidad de que se elabore -- todo un plan general para que aunque sea de manera general o a partir de una gran visión se puedan seleccionar -- aquellos proyectos que convenga analizarlos más deta -- lladamente y que conduzcan al óptimo general.

Por otro lado, en el ejemplo presentado se incluyen una serie de subproyectos individuales, como son los que -- corresponden a cada una de las tres lagunas, los de los frigoríficos y los de las plantas de hielo y tal parece que los costos y beneficios del proyecto global sólo represen -- tan una suma de los costos y beneficios de los subproyec -- tos que lo integran, sin considerar la interrelaciones en -- tre estos últimos, o como algunos autores denominan, -- las externalidades que provocan cada uno de los subpro -- yectos, en los demás.

En el caso de frigorífico que se piensa instalar en la laguna A, los cálculos de su justificación se han hecho en base a que en él se procesaría no solo la producción de-

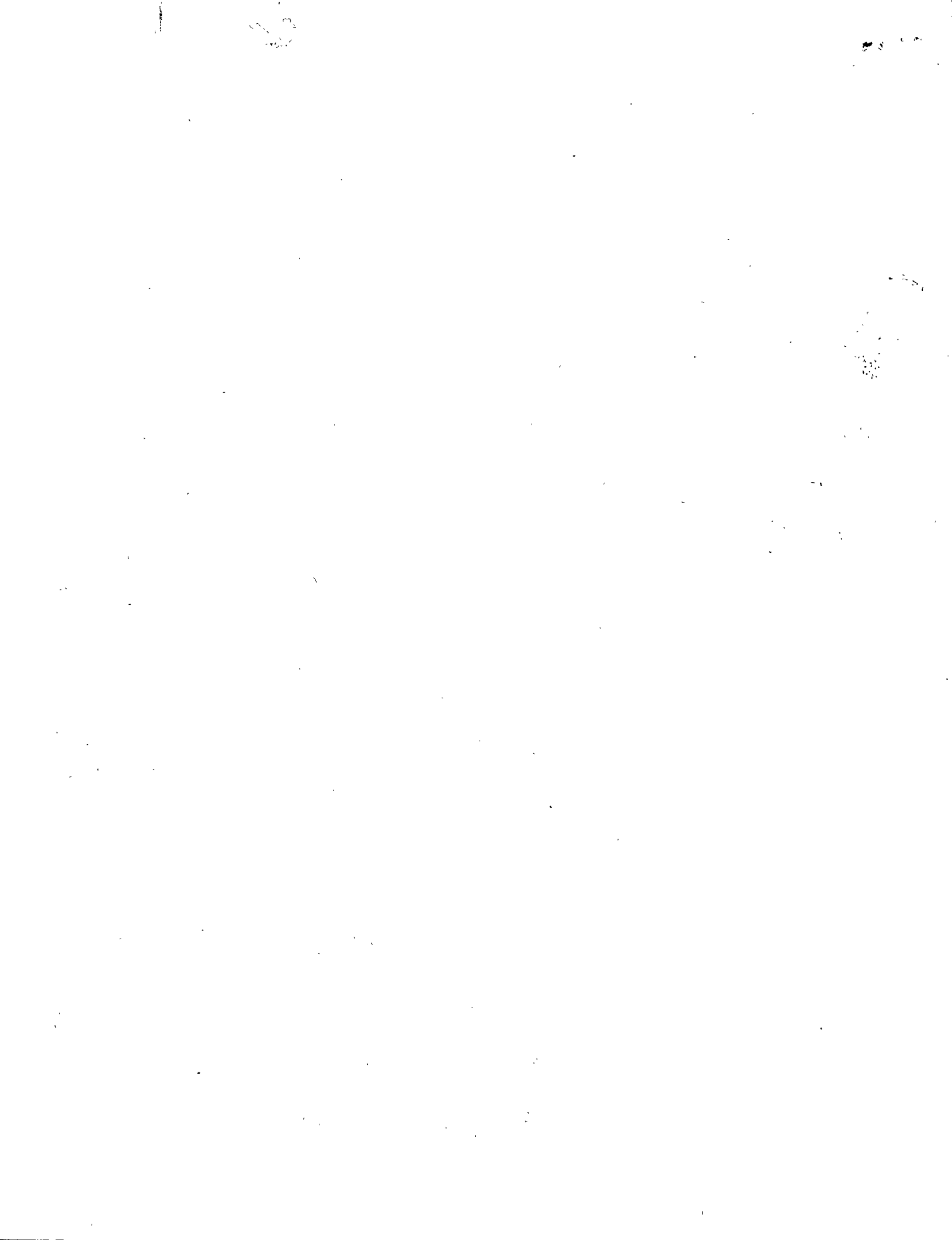
--la laguna A sino también la que se obtenga de la laguna B. Es claro que de no rehabilitarse ambas lagunas - dichos cálculos podrían sufrir fuertes variaciones, como por ejemplo requerir un congelador de menor tamaño, lo cual haría que la inversión requerida disminuyera o - los mayores costos de materia prima por concepto de - transporte desde otras lagunas probablemente ya no justifiquen instalar el frigorífico, etc. Nuevamente aquí se ve la necesidad de visualizar el óptimo global y - de plantear diversas alternativas que al ser evaluadas en conjunto permitan alcanzarlo realmente.

RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL ANALISIS.

- 1.- Sería muy útil contar con un estudio de mercado que indicara las posibilidades de colocar el producto en el mercado local, regional, nacional o extranjero con señalamiento de su variación estacional y que definiera los mecanismos para su comercialización, sobre todo la forma en que se luchará contra el intermediarismo y sus efectos en la mejora de los ingresos de los productores.
- 2.- Sería muy conveniente que se hubieran planteado diversas alternativas de tal suerte que la elegida de -

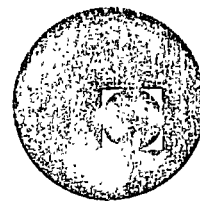
--mostrara sus ventajas sobre las demás.

- 3.- También podrían plantearse diversas combinaciones - de proyectos complementarios que de una manera diná mica se fueran desarrollando a lo largo de un cierto- período programado.
- 4.- Se podría presentar un análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos con respecto a variaciones en los rendimientos esperados de volúmenes por ha., de cap- tura por embarcaciones, de la tasa de actualización, - de los precios de mercado de los costos de mano de - obra, de los insumos etc.
- 5.- En cuanto a los pronósticos de capturas, rendimientos, precios, ventas y demás variables aleatorias se podrían utilizar algunos métodos econométricos más refinados para su estimación.
- 6.- Sería deseable que la determinación de los costos so- ciales del proyecto fuese mas amplia y explícita.
- 7.- También sería conveniente un mayor detalle en la de - terminación de los costos de captura, sobre todo para imputarles adecuadamente a las especies que corres- pondan.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



ANALISIS DE INVERSIONES

LA PLANEACION, PROGRAMACION Y FINANCIAMIENTO
DE LAS INVERSIONES EN VIAS FERREAS

ING. FRANCISCO GOROSTIZA PEREZ

MAYO, 1978.

"LA PLANEACION, PROGRAMACION Y FINANCIAMIENTO DE LAS INVERSIONES EN VIAS FERREAS"

Ing. Francisco J. Gorostiza

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrollan ideas generales sobre la importancia de la planeación de las inversiones en el sector ferroviario, se exponen algunos criterios de evaluación de proyectos y formulación de programas, y se hace referencia a los principales problemas que plantea el financiamiento de los mismos.

Se intenta poner en claro los objetivos del sector ferroviario que no pueden ser distintos de los nacionales, destacando el hecho de que los planes y programas en vías férreas deben constituir parte inseparable de los del Desarrollo Económico y Social del país. Asimismo, se detallan los objetivos y metas específicos que el sector debe buscar para contribuir en mayor medida en el proceso de desenvolvimiento general, destacando la eficiencia y capacidad para hacer frente a las demandas de transporte de bienes y personas que encuentran en la vía férrea el modo más adecuado para su movilización; para sentar las bases de una sana coordinación entre los distintos modos de transporte; y para tender a un deseable equilibrio financiero de las Empresas.

A continuación y como parte medular de la ponencia se mencionan los más importantes problemas que viven los ferrocarriles mexicanos y se esbozan los lineamientos de una política de inversiones en vías férreas, para luego discutir las técnicas de proyección de la demanda, los criterios de evaluación económica de proyectos y de formulación de programas de inversión, señalando sus alcances y limitaciones.

En seguida se hacen algunas consideraciones relativas al tamaño de los proyectos, las especificaciones y procedimientos, duración de los planes, la necesidad de continuidad, todo ello dentro del marco que caracteriza a los países que, como los nuestros, están impulsando su desenvolvimiento.

Finalmente, se aborda el problema del financiamiento de los programas, haciendo énfasis en las limitaciones que involu-

cra el uso de fuentes externas, y se destaca la importancia de buscar en forma permanente la más alta productividad en todos sentidos y la necesidad de hacer esfuerzos en materia de reducción de costos y de comercialización para fortalecer económicamente a las empresas ferroviarias y capacitarlas para hacer frente a las indispensables transformaciones que operarán en los próximos años, y contribuir a la mayor participación que el sector ferroviario debe asumir en nuestra evolución futura.

"LA PLANEACION, PROGRAMACION Y FINANCIAMIENTO DE LAS INVERSIONES EN VIAS FERREAS"

Ing. Francisco J. Gorostiza *

PLANES

El reconocimiento de que los recursos necesarios para las inversiones en obras y equipo ferroviario y en general para todo tipo de gastos en creación, ampliación o consolidación del capital social básico que permite promover y sostener la evolución - - armónica y acelerada de la sociedad en que vivimos, son muy superiores a los disponibles, hace evidente la necesidad de racionalizar su uso, de tal suerte que sea posible obtener el máximo rendimiento de ellos, para el pronto logro de los objetivos buscados.

En el análisis de las distintas alternativas de desarrollo del sector ferroviario, las técnicas de planeación y programación resultan un valioso instrumento, pero éstas no tienen carácter universal ni pueden aplicarse indiscriminadamente, sobre todo en países como los nuestros que tienen problemas específicos, - - aunque análogos, que demandan soluciones particulares, por lo que es necesario hacer serias reflexiones e implantar métodos y procedimientos acordes a nuestra realidad y medios disponibles.

Esas técnicas pueden ir desde esquemas formales que contienen las acciones a realizar, hasta planteos sencillos usados en la toma de decisiones, sin pretender que constituyan marcos rígidos que condicionen totalmente las tareas por realizar, y su utilidad y validez radica en la coherencia que aseguran entre objetivos y medios disponibles.

Entre las fases fundamentales en la elaboración de planes de inversiones en obras de infraestructura y equipos para ferrocarriles, destacan la fijación de objetivos y de lineamientos de política general para el sector; la preparación de un diagnóstico - de la situación prevaleciente; los pronósticos de tráfico por categorías y su distribución; la proposición de mejoramientos y medidas a tomar para asegurar el movimiento del tráfico futuro y el equilibrio en el mercado de los transportes; los juicios que permitan - - probar la factibilidad económica de las iniciativas y su coherencia con el logro de las metas fijadas; la integración de un programa --

* Jefe de la Unidad de Programación de los
Ferrocarriles Nacionales de México .

que tome en cuenta las prioridades establecidas y los recursos -- asignados en el tiempo a cada uno de los proyectos; y el análisis -- de las fuentes probables de financiamiento.

En ese orden de ideas en el presente trabajo trataremos lo referente a cada una de esas etapas del proceso de planeación de las inversiones ferroviarias y nos ocuparemos en primer término de los objetivos primordiales para el sector.

OBJETIVOS

Difícilmente podemos encontrar una actividad productiva y aspectos de la vida social, política, cultural y administrativa de un pueblo, que no estén ligadas de alguna manera directa o indirecta con el fenómeno del traslado de personas y bienes, por lo que los objetivos de un plan de transportes, en los que se inscriban los programas de inversiones en infraestructura y equipo ferroviario, deben ir más allá de los problemas internos del propio sector y formar parte inseparable de los planes de desarrollo económico y social de la Nación.

Es por esas razones que los objetivos de los planes de transporte no podrán ser diferentes de los de crecimiento económico, industrialización, descentralización de actividades, desarrollo regional, aprovechamiento de recursos existentes, creación y fortalecimiento de los polos de desarrollo, ordenación del uso de los espacios urbanos, fomento del comercio exterior, distribución del ingreso y salvaguarda de los valores y cultura propios, y en general, el mejoramiento de los niveles de bienestar y cambio en las estructuras sociales, preocupaciones que son común denominador a todos los países que tratan, como nosotros, de impulsar su desenvolvimiento con independencia y estabilidad.

POLITICA DE TRANSPORTES

Entre otros problemas que más adelante se detallan, - cabe mencionar uno que es frecuente que tenga lugar en los países del tercer mundo, y que es el de la falta de una política de transportes, en la cual puedan ubicar sus acciones las empresas ferroviarias, las que al carecer de orientaciones y directrices específi

cas, actúan haciendo los mejores esfuerzos que les permite el tiempo, los recursos y su propia organización, sin que necesariamente sean los que más beneficien al transporte y al país en su conjunto.

En tal virtud una tarea importante e inaplazable por realizar y sin la cual es difícil y muchas veces estéril cualquier esfuerzo de planeación, es la de definir una clara y precisa política de transportes, en la cual de manera natural se apoyen los planes de transporte, los programas de inversiones en infraestructura, las estrategias para producción e importación de equipos y refacciones, y los planes de aprovechamiento y uso de los energéticos.

En esas políticas deberán también basarse las medidas reglamentarias, tarifarias e impositivas que en su conjunto conduzcan al logro de los objetivos nacionales, al mejor aprovechamiento de los recursos existentes, a una coordinación entre los diferentes modos de transporte y en general a la máxima contribución del sector al desenvolvimiento del país. De otra manera podemos incurrir en gastos y desperdicios innecesarios, en deformaciones en la economía y en cargas excesivas para el Estado.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Las metas específicas del sector inscritas en el contexto del logro de los objetivos nacionales y dentro del papel que en el proceso de desenvolvimiento general los ferrocarriles deben desempeñar, pueden resumirse en las siguientes ideas:

- 1) Satisfacer las demandas de transporte de personas y bienes con una eficiencia y un costo tal que la vía férrea absorba la parte del tráfico que económicamente más conviene a la nación, teniendo en cuenta las necesarias transformaciones que operarán en el sector transporte en los próximos años, y buscando en forma permanente el mejor uso de los recursos de toda índole que se manejan, destacando los humanos, los energéticos y las de inversión en infraestructura y equipos.

- 2) Tender a la mejor coordinación y complementación entre los diferentes modos de transporte, de tal suerte que - - cada uno de ellos tome a su cargo el tráfico que le co- -- rresponde dentro de un deseable equilibrio en el mercado de los transportes.
- 3) Disminuir al máximo posible los costos totales de transportación de bienes y personas que, por su naturaleza y distancia de recorrido, encuentran en el transporte ferroviario el modo más indicado para su movilización y al -- mismo tiempo hacer posible que los precios por los servicios sean tales que se tienda al equilibrio financiero de las Empresas, aliviando la carga para el Estado, eliminando las nocivas deformaciones que a la economía pueden ocasionar los subsidios al transporte y proporcionando las ventajas, libertad y flexibilidad que la autosuficiencia da a las administraciones ferroviarias.
- 4) Extender los sistemas, ampliar y modernizar las instalaciones, y diversificar los servicios y sus modalidades -- para contribuir en la mayor medida posible al alcance de los objetivos nacionales ya mencionados y constituir junto con otros medios del Estado, un instrumento eficaz -- para el fomento de las acciones de desarrollo y de distribución del ingreso.

Para lograr lo anterior es necesario tomar una serie de medidas operativas, tarifarias, de reformas a la administración y a la organización; buscar en forma permanente la reducción de costos y la más alta productividad y eficiencia en todos los sentidos; así como de la canalización de importantes recursos de inversión para mejoramientos y adquisiciones de todo tipo que en su conjunto permitan la coherencia y compatibilidad de los planteamientos mencionados.

A continuación, por las limitaciones de este trabajo, - y no porque sean más importantes, nos referiremos únicamente a las inversiones, y mencionaremos los más importantes problemas que sobre el particular afrontan los ferrocarriles Mexicanos.

DIAGNOSTICO

Parte importante de los esfuerzos en la preparación de los planes de inversiones en vías férreas, deben orientarse al diagnóstico de la situación prevaleciente y al levantamiento de un inventario de los medios disponibles, que deberá cubrir no solamente el estado físico de las instalaciones y el material existente, sino de su grado de utilización, y en general de la identificación de los problemas y obstáculos que impiden el mejoramiento en la calidad de los servicios y absorber la demanda que dentro del mercado de los transportes le corresponde a la vía férrea.

Cabe reconocer que en la mayor parte de nuestros países ya se cuenta con un sistema básico ferroviario bastante completo y que los inventarios de fuerza motriz y equipo de arrastre alcanzan cifras de consideración, lo que constituye un patrimonio del que debemos obtener el máximo rendimiento.

Como consecuencia de la concentración regional de las actividades que caracteriza a la mayor parte de los países en desarrollo, las redes ferroviarias presentan en general una alta densidad de tráfico en parte de sus instalaciones, en las cuales frecuentemente ya hay serios problemas de saturación y en las que por el fuerte crecimiento de la demanda que se espera, será necesario realizar importantes inversiones en el futuro próximo, para garantizar la capacidad y niveles de servicio adecuados, así como para no incurrir en costosas demoras y deficiencias que podrían traducirse en diferimiento de parte del tráfico a otros modos de transporte.

En contraste existe un alto porcentaje de las líneas e instalaciones fijas que tienen muy bajo índice de utilización, lo que constituye una nociva inmovilización de inversiones y conduce a la necesidad de sostener en algunos casos, cuando hay presiones políticas y condicionantes sociales inevitables, servicios y ramales improductivos que afectan seriamente las finanzas de las empresas.

Otro fenómeno que vale la pena citar es la existencia de numerosas obras provisionales y de baja capacidad, y en el caso de México, es el de los puentes el que más nos preocupa, lo que además de los elevados gastos de mantenimiento en que se

incurre, constituyen un riesgo en la operación y no permiten el uso del equipo moderno de grandes pesos por eje en una parte significativa de los sistemas.

Conviene destacar en materia de vías el hecho de que un gran número de líneas datan del siglo pasado y principios del presente y que sus especificaciones geométricas ya no corresponden a las características modernas del equipo, ni a las necesidades actuales del transporte, por lo que es preciso canalizar esfuerzos importantes al mejoramiento y modernización de muchas de las instalaciones.

Asimismo, subsisten aún centros de actividad económica donde existen recursos potenciales que para su aprovechamiento y desenvolvimiento requieren de los servicios del transporte ferroviario de alta calidad, lo que en muchos casos se traduce en la necesidad de construir nuevas líneas o acortamientos en las redes existentes.

Otro aspecto que debe preocuparnos es el de las necesidades de expansión de los patios, terminales y talleres de mantenimiento del equipo, en zonas en las que por el crecimiento de las poblaciones no existen posibilidades de ampliación y se precisa de cambios de localización a sitios donde los terrenos disponibles son escasos. Es por lo tanto indispensable hacer las previsiones con la suficiente anticipación para adquirir el derecho de vía oportunamente y tener en cuenta las expectativas de desarrollo y evolución deseable de las ciudades, en cuya orientación y limitación pueden influir considerablemente las instalaciones ferroviarias.

Uno de los problemas más importantes que tienen que resolver las administraciones ferroviarias y que constituye frecuentemente la médula de los Programas de Inversiones, es el que corresponde a la adquisición de fuerza motriz, carros de carga y coches de pasajeros, para absorber el crecimiento de la demanda y para satisfacer las necesidades de reposición de equipo, y en menor escala los requerimientos de maquinaria para talleres de reparación y mantenimiento de vía. Este renglón debe ser motivo de cuidadosos análisis en razón de la gran cantidad de recursos en divisas extranjeras que se requieren y por las grandes posibilidades que existen de aumentar los índices de rendi-

miento que en la actualidad son sumamente bajos.

En términos de la necesidad de dar mejor uso y aprovechamiento a nuestros recursos energéticos, en el futuro próximo operarán transformaciones radicales en el transporte sobre todo en lo que toca a la suerte del autotransporte de carga a largas distancias, y el papel de los ferrocarriles para el transporte interurbano de pasajeros a medianas distancias y el tráfico suburbano en las grandes zonas metropolitanas, circunstancia que debe ser motivo de nuestra preocupación por la importancia de los recursos presupuestales que deberán manejarse y porque se trata de proyectos de largo período de maduración.

POLITICA DE INVERSIONES

En ese estado de las cosas podemos resumir las necesidades más apremiantes en materia de inversiones y los conceptos a considerar en la formulación de planes en la materia de la siguiente manera:

- 1) Tener implícita la idea de dar primordial importancia y asignar alta prioridad a las labores de conservación de las instalaciones fijas y equipo existente, a efecto de obtener de ellas el máximo rendimiento y prolongar lo más posible su vida útil y evitar que por su desatención nos veamos obligados a realizar inversiones prematuras e innecesarias. Lo anterior supone en primer término actualizar los trabajos de mantenimiento que equivocadamente o por falta de recursos se han venido difiriendo.
- 2) Prestar especial atención a las inversiones en aumento de la capacidad y mejoramiento de los niveles de servicio a través de la ampliación de laderos, patios, terminales, talleres, estaciones, y otras edificaciones. Cuando las ampliaciones signifiquen cambio de localización habrá que tomar en cuenta el hecho de que las inversiones futuras deben influir en una verdadera planificación del ordenamiento urbano, un óptimo aprovechamiento del suelo disponible y un efectivo apoyo al desenvolvimiento de las actividades industriales y a las políticas de descentralización y desarrollo regional.



- 3) Canalizar importantes recursos al mejoramiento y aumento de la seguridad y eficiencia en la explotación, a través del desarrollo de las telecomunicaciones e implantación de sistemas de control de operaciones, cuando los beneficios derivados de los proyectos superen a las inversiones necesarias.
- 4) Continuar los estudios y medidas encaminadas a la supresión de servicios, líneas y ramales improductivos, cuando no existan razones económicas para seguirlos sosteniendo, ni subsistan grupos de población que por la falta de recursos o de otros medios de comunicación, encuentren en el transporte ferroviario la única vía de acceso con el resto del territorio nacional.
- 5) Proseguir, conscientes de que no será una meta alcanzable en el corto plazo, el proceso de sustitución de puentes y en general obras provisionales por definitivas, dando prioridad a las líneas que por los volúmenes y naturaleza del tráfico soportado, o por las características del clima, sea más urgente y económicamente justificable su atención.
- 6) Intensificar las labores de rehabilitación integral de las vías más congestionadas, incluyendo el cambio de riel y aumento de su calibre, cuando su estado físico y la economía así lo justifiquen, e introduciendo los adelantos tecnológicos en materia de vía elástica y soldadura de tramos de gran longitud, así como impulso a trabajos que van desde el refuerzo de terracerías y taludes, hasta la relocalización de tramos de alta pendiente y curvatura, cuando la magnitud de los ahorros en costo de transporte y mantenimiento, garanticen la redituabilidad del capital involucrado en las inversiones.
- 7) Construcción de nuevas líneas y acortamientos entre tramos existentes, cuando su influencia en la promoción del desarrollo de otros sectores, su participación en el logro de los objetivos nacionales o la magnitud de los volúmenes de tráfico, justifiquen la realización de los proyectos.
- 8) Adquisición de la fuerza motriz y equipo de arrastre que-

vaya demandando la evolución del tráfico y los requerimientos de sustitución de equipo obsoleto o en mal estado físico, teniendo en cuenta el indispensable aumento de la productividad y la capacidad de la industria nacional para hacer frente a parte de las necesidades de producción y las transformaciones tecnológicas que se esperan, especialmente la electrificación parcial de los sistemas.

- 9) Iniciar los estudios, proyectos y tomar las medidas necesarias, así como canalización de fondos presupuestales, para anticiparse a los requerimientos que en el futuro demandará el transporte masivo de pasajeros.

PREVISIONES DE TRAFICO

Definidos los principales lineamientos de política de inversiones la evaluación del tráfico futuro es una tarea esencial. Como las inversiones en obras y equipos ferroviarios generalmente tienen una duración de vida considerable, las decisiones sobre el particular implican necesariamente previsiones de tráfico a largo plazo que son riesgosas y difíciles de establecer. Sin embargo es evidente que será mejor hacer hipótesis gruesas a sabidas que podemos estar equivocados, que no hacerlas.

Teóricamente las previsiones de tráfico deberían desarrollarse globalmente siguiendo tres fases fundamentales: La identificación de los sitios y volúmenes de la producción y consumos futuros, incluyendo las importaciones y las exportaciones e hipótesis en cuanto a la importancia relativa que tendrán los núcleos de actividad; la conversión de esos datos en volúmenes de tráfico, clasificados por origen y destino; y por último, el reparto de esos flujos por modos de transporte, entre los que se cuenta desde luego la vía férrea.

Sin embargo un método como el descrito tiene dificultades reales en su aplicación en los países como los nuestros, ya que las previsiones entrañan la existencia de planificación de otros sectores que en la mayor parte de las veces carecemos, y de la disponibilidad de pronósticos a largo plazo en cuanto a la evolución de los mismos que casi siempre se desconocen, a excepción de unas cuantas industrias básicas en las que afortunadamente ya-

existe un panorama más o menos claro de sus niveles de producción a un horizonte tal que permite hacer especulaciones en cuanto al comportamiento futuro del tráfico de ese tipo de artículos.

Es por eso que puede ser más práctica la aplicación de métodos econométricos simples que relacionen algunas variables independientes, o parámetros para el horizonte seleccionado, con la demanda del tráfico, o bien considerar la evolución de los flujos de transporte en el tiempo y efectuar extrapolaciones de las tendencias del pasado para hacer previsiones al futuro, métodos que no obstante su poca confiabilidad han sido hasta el momento frecuentemente utilizados en estudios de transporte en países de desarrollo económico relativamente bajo.

Las informaciones anteriores nos permitirán hacer previsiones en cuanto al grado de utilización que tendrán las instalaciones fijas y los equipos disponibles, y al compararlo, con su capacidad y estado físico, servirán de base para la generación de las iniciativas y alternativas de inversión que posteriormente se evaluarán para establecer las prioridades y programas de acción, atendiendo a sus efectos primordiales.

EVALUACION DE PROYECTOS

La planeación de las inversiones va desde los planteamientos teóricos y conceptuales, hasta las fases prácticas y ejecutivas, en las que las técnicas de evaluación de proyectos son instrumentos valiosos, tanto para el análisis de alternativas, como para el establecimiento de prioridades, cuantificación de la medida en que se alcanzan los objetivos buscados y el cálculo del rendimiento del capital involucrado en cada una de las iniciativas, por lo que conviene esbozar a grandes rasgos los principales criterios y orientaciones en esa materia.

CRITERIOS FINANCIEROS Y ECONOMICOS

Con los sistemas actuales de tarifas y las características del mercado de los transportes, la evaluación de inversiones basada exclusivamente en consideraciones financieras entraña serias dificultades y no deja de ser demasiado parcial, ya que

subsisten problemas de evaluación económica, al tratar de analizar servicios públicos indispensables o proyectos de costo extremadamente elevado, en los que los efectos no son apropiados para estudios fundamentados en mecanismos exclusivamente financieros.

El equilibrio financiero si bien es deseable, en muchos casos no constituye el objetivo básico de la gestión de las empresas ferroviarias, y dado el papel promotor e instrumento valioso de política económica que constituye este modo de transporte, el Estado contribuye generalmente a hacer frente a los requerimientos de inversión en ampliación y modernización de las instalaciones y a soportar déficits de operación que casi siempre son de consideración.

En esas circunstancias las discusiones sobre inversiones en lo general deberán estar apoyadas en análisis económicos a nivel de colectividad, sin que sus conclusiones deban ser definitivas ni únicas, ya que habrá que considerar otros elementos que por su naturaleza no sea posible expresarlos en términos monetarios, como las implicaciones de índole política y social, y la medida en que las acciones permiten el logro de los objetivos y metas nacionales y sectoriales.

INFLUENCIA DEL FACTOR TIEMPO

La esencia de las inversiones obliga a hacer comparaciones entre situaciones que ocurren en momentos diferentes, por lo que es necesario hacer intervenir procedimientos que permitan hacer confrontaciones a partir de flujos de gastos y beneficios durante el horizonte económico de los proyectos. Un método frecuentemente usado es el de la actualización, o sea el empleo de una tasa (i) que por definición implica que la posesión de una unidad monetaria en el año $(n-1)$ sea igual a $(1+i)$ unidades en el año (n) . De ahí que la disponibilidad de una unidad monetaria en el año (n) sea equivalente a $1/(1+i)^n$ en el momento presente.

La aplicación del criterio anterior presenta dos dificultades: una de índole práctica, consistente en aplicar frecuentemente, salvo casos especiales, una tasa de actualización única; y otra de carácter teórico, que es el empleo de intervalos de un -

año para efectos comparativos, en lugar de lapsos más pequeños - que conducirían a una tasa de actualización continua.

Intimamente ligado con el problema de la determinación de la tasa de actualización se encuentra el del establecimiento del período de análisis del proyecto. En los transportes, y -- especialmente en la infraestructura, la vida útil es frecuentemente muy larga, tanto que teóricamente se podría aceptar que con -- una conservación adecuada la duración física de la misma podría ser indefinida. Sin embargo, para fines de análisis de inversiones ferroviarias, no conviene llevar los estudios más allá de 25 ó 30 años, ya que, por el efecto de la actualización, tanto los costos como los beneficios que ocurren en un año muy lejano ejercen poca influencia en el valor presente; asimismo, hay que tener en cuenta la dificultad de hacer previsiones a tan largo plazo.

Otra dificultad radica en la selección de la tasa de -- actualización que interpreta la productividad que se está exigiendo por el uso del capital. Cuando en un sistema económico el capital es escaso, su valor debe ser alto, pues el costo de oportunidad del recurso tiende a elevarse como resultado de una demanda insatisfecha y por la existencia de empleos alternativos más redituables en el propio sector ferroviario o en otros de la economía.

CRITERIOS ECONOMICOS DE RENTABILIDAD

El objeto primordial de la evaluación económica de -- los proyectos es medir los costos y los beneficios asociados a su realización, para probar su factibilidad y hacer posible su comparación con otras alternativas, tanto del propio sector ferroviario, como con iniciativas de otros sectores de la economía donde también existen problemas y necesidades que atender.

Esa idea parece clara pero requiere sin embargo de -- algunas precisiones. Primeramente, habrá que seleccionar el -- criterio de evaluación más indicado para cada caso y, posteriormente, fijar las consideraciones necesarias para verificar su -- coherencia con los planes y objetivos nacionales, las repercusiones indirectas y los beneficios sociales, cuya cuantificación monetaria es difícil y discutible.

Una vez que los costos y los beneficios hayan sido medidos, los resultados de la evaluación pueden ser presentados en términos del beneficio neto actualizado, el coeficiente beneficio - costo o la tasa anual de retorno y aunque existe mucho escrito sobre el particular, no hay desafortunadamente uniformidad de criterios en lo que concierne a su aplicación.

Entre diferentes alternativas de una inversión será necesario seleccionar aquella que reporte el máximo beneficio neto actualizado, que es el resultado de deducir los costos de los beneficios, en valor presente, y en base al costo de oportunidad del capital, la cual será aceptada en principio si dicho valor es positivo. Sin embargo, habrá que tomar en cuenta que los recursos financieros no son ilimitados y el hecho de que otras iniciativas alternas pueden tornarse con el tiempo más rentables, al favorecerse por cambios en las circunstancias o por la evolución en los niveles de tráfico. El beneficio neto actualizado puede expresarse de la siguiente manera:

$$B = \sum_{i=0}^n \frac{(B_i - I_i)}{(1+a)^i}$$

- B = Beneficio neto actualizado
- n = Número de años del horizonte económico
- B_i = Beneficio en el año (i)
- I_i = Inversión en el año (i)
- a = Tasa de actualización

El coeficiente beneficio - costo se ha utilizado en evaluación de inversiones de transporte ferroviario en formas diversas: ya sea calculando el cociente entre los beneficios y los costos actualizados,

$$C_{B/C} = \frac{\sum_{i=0}^n B_i (1+a)^{-i}}{\sum_{i=0}^n I_i (1+a)^{-i}}$$

- $C_{B/C}$ = Coeficiente de beneficio - costo
- B_i = Beneficio en el año (i)
- I_i = Inversión en el año (i)
- a = Tasa de actualización
- n = Número de años del horizonte económico

o bien calculando la relación entre los beneficios y los costos en un año determinado, (B_i/I_i), lo cual además de la dificultad de fijar el año, tiene el inconveniente de no considerar la evolución en el tiempo, tanto de las ventajas como de las erogaciones.

Cuando el coeficiente beneficio - costo sea mayor que la unidad, para una tasa de actualización dada, el proyecto en principio podrá llevarse a cabo. Sin embargo su aplicación puede tender a favorecer a inversiones pequeñas que no son las que conducen al beneficio neto actualizado máximo, lo cual puede ser válido por la limitación en los recursos financieros.

El inconveniente más importante de la aplicación del coeficiente beneficio - costo y el beneficio neto actualizado, estriba en la necesidad de seleccionar una tasa de interés que refleje el costo de oportunidad del capital, el cual es frecuentemente desconocido y difícil de estimar sin correr el riesgo de incurrir en fuertes errores.

Ese inconveniente puede atenuarse en cierta medida, utilizando una noción más accesible, que consiste en evaluar los proyectos en términos de la tasa anual de retorno de las inversiones, o sea, por definición, la tasa que hace iguales los valores presentes de los flujos de costos y beneficios asociados a una iniciativa, es decir:

$$\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=0}^n \frac{I_i}{(1+r)^i}$$

- B_i = Beneficio en el año (i)
- I_i = Inversión en el año (i)
- n = Número de años del horizonte económico
- r = Tasa anual de retorno

Existe teóricamente un inconveniente de utilizar la tasa anual de retorno que es el de proporcionar respuestas ambiguas en el sentido de que varias tasas pueden ser capaces de igualar los -- beneficios y los costos actualizados de un proyecto, pero esto se -- presenta pocas veces en los proyectos de transporte ferroviario, -- en los que los gastos más fuertes se concentran en los primeros -- años y los beneficios se manifiestan más tarde.

CALCULO DE LOS COSTOS

En la mayor parte de los casos, y en contraste con lo que sucede con los beneficios, existe generalmente suficiente experiencia para calcular los costos de inversión, mantenimiento y -- explotación en los que se incurre cuando se lleva a cabo un proyecto, los cuales dependen fundamentalmente de los estudios de diseño, las especificaciones seleccionadas y del conocimiento de los -- precios y los factores que influyen en su variación.

En el caso del sector ferroviario se pueden distinguir dos tipos de inversiones: Las obras para el mejoramiento y -- ampliación de la infraestructura y la adquisición de equipos y maquinaria de toda índole para el servicio de transporte y las labores de mantenimiento, que en su conjunto incrementan el activo -- fijo de las empresas.

En ambos casos habrá que considerar no solamente la adquisición de equipos, materiales y mano de obra, sino también cierta cantidad de imprevistos y gastos indirectos subordinados a los proyectos, así como la necesidad de llevar a cabo acciones -- complementarias sin las cuales no es posible el funcionamiento -- de los proyectos.

En el cálculo de los costos de mantenimiento y explotación habrá que hacer previsiones a lo largo del horizonte económico de los proyectos y tener en cuenta las variaciones probables en los precios y en la productividad de los factores, así como las eventuales inversiones en reconstrucciones y reparaciones que tengan que realizarse durante el lapso de análisis.

En los países en vías de desarrollo en los que no se producen gran parte de los equipos ferroviarios, en la evaluación

de los costos y para efectos de financiamiento y de medida del - - impacto de las inversiones en la balanza de pagos, habrá que considerar la componente extranjera de las mismas, ya sea directa - cuando se trate de importaciones, o indirecta, en la proporción - en que se utilicen insumos de procedencia extranjera en la producción de los bienes de origen nacional.

CALCULO DE LOS BENEFICIOS ECONOMICOS

La medida de los beneficios económicos que resultan de los proyectos es ordinariamente más difícil que la estimación de los costos. Existen ciertos efectos directos de las inversiones que aunque se identifican perfectamente, no son cuantificables monetariamente; hay muchas ventajas de orden económico que exigen previsiones a largo plazo que son difíciles de establecer; y -- un gran número de efectos indirectos necesitan de otras inversiones, en otros sectores distintos del ferroviario, para llegar a materializarse.

* Las ventajas más considerables que pueden resultar de los proyectos de inversiones ferroviarias son: el abatimiento de los gastos de explotación, la reducción en los costos de mantenimiento, la disminución del número de accidentes y daños a las mercancías, las economías en tiempo a los pasajeros y carga, el mejoramiento en la comodidad y regularidad en el servicio, y el estímulo a la actividad económica, entre otras.

Los beneficios que son más fáciles de cuantificar son los que se desprenden de las inversiones en ampliación y modernización de las instalaciones y adquisición de equipos, los que se traducen en ahorros en costos de explotación y mantenimiento de los medios existentes, incidiendo en forma inmediata en el mejoramiento de empresas ferroviarias, pero a la larga transmiten - sus efectos a otros grupos económicos.

Entre las inversiones que producen ahorros en costos de operación y gastos de mantenimiento destacan la rehabilitación de las vías, la construcción de nuevas líneas y acortamientos, las relocalizaciones para mejorar alineamiento vertical y horizontal, la adquisición de maquinaria de vía y de talleres, y las obras de electrificación, entre otras.

Las economías en tiempo son un elemento de gran importancia en el análisis de la mayor parte de los proyectos de inversiones ferroviarias. Sin embargo, su evaluación es frecuentemente difícil, por lo que es conveniente separar el transporte de pasajeros del de mercancías.

En el transporte de carga los elementos principales a retener y que proporcionan la mayor parte de los beneficios, son los ahorros en fuerza tractiva y equipo de arrastre que permiten una reducción en el capital destinado a ese fin, las economías en tiempo del personal dedicado al transporte y la menor inmovilización de las mercancías.

La dificultad de cuantificar monetariamente los ahorros en tiempo de los pasajeros es aún más grande, en razón de las diferentes categorías de usuarios. Sin embargo, en las condiciones actuales de nuestro país, en la que existen fuertes problemas de desempleo y subempleo, y en la que la mayor parte de los usuarios usan el servicio de segunda clase por su bajo precio, no debe considerarse significativo el valor del tiempo, ya que no se considera factible que el tiempo ganado sea utilizado en una tarea productiva, ni que exista un aumento importante en el tráfico disminuyendo la duración de los recorridos.

En cambio en el futuro próximo, en el que se esperan transformaciones radicales en el transporte masivo de pasajeros por vía férrea, fundamentalmente en el tráfico interurbano a medianas distancias y el servicio suburbano a altas velocidades y frecuencias, el valor del tiempo puede llegar a tener valores que incluso por sí sólo justificará las grandes inversiones que serán necesarias.

Ciertos proyectos tienen por objeto fundamental el aumento de la seguridad, tales como las señales, los pasos a desnivel, las telecomunicaciones, etc. La evaluación de las pérdidas materiales que se evitan al disminuir el número y la importancia de los accidentes no ofrece dificultades conceptuales serias. En cambio, la cuantificación económica de los daños sufridos por las personas ha encontrado frecuentemente oposición y ha sido objeto de grandes controversias. Sin entrar en grandes detalles, señalemos únicamente la necesidad de adoptar métodos de análisis que auxilien en la toma de decisiones orientadas a dismi-

nuir las pérdidas humanas que tanto preocupan a las administraciones ferroviarias.

En la mayor parte de los países, la construcción de -- nuevas líneas ferroviarias que constituyen una extensión a las redes existentes no es motivo de especial preocupación, en razón de que ya han alcanzado un grado de evolución aceptable y prestan niveles de servicio bastante adecuados. Sin embargo, subsisten -- algunos proyectos para completar los sistemas, sobre todo hacia aquellos sitios donde, para la explotación de los recursos disponibles, el transporte ferroviario es una condición indispensable.

Para la evaluación económica de los proyectos de nuevas líneas ferroviarias se toma como base el estímulo a la actividad económica y la medida en que las obras contribuyen al logro de objetivos en materia de distribución geográfica del desenvolvimiento, y de apoyo a las políticas de descentralización demográfica y de desarrollo regional.

La expresión económica de los beneficios en esos casos la constituye el incremento en el producto bruto nacional atribuible a los nuevos proyectos. Sin embargo, lo anterior presenta la dificultad de estimar que parte de ese valor agregado a la -- economía corresponde realmente a las obras ferroviarias y cuáles a las acciones paralelas en otros sectores económicos, por lo -- que en estos casos se sugiere tratar las iniciativas como paquetes integrales de desarrollo regional, cuya justificación y prioridades debe presentarse globalmente, dando seguridad y coherencia a los planteamientos financieros.

Pocas dificultades se tienen que sortear para calcular los beneficios atribuibles a la adquisición de fuerza motriz y -- equipo de arrastre para hacer frente al crecimiento de la demanda y para sustituir equipo obsoleto o en mal estado físico. En -- el primer caso, se estima el flete que se diferiría a otros modos de transporte por la incapacidad de absorberlo por falta de equipo suficiente, siendo la diferencia en costos de operación la -- expresión monetaria de los beneficios; y en el segundo, el incremento en gastos de mantenimiento en que se incurriría al tratar de sostener las unidades en servicio habiendo llegado ya al final de su vida útil.

SELECCION DE ALTERNATIVAS Y AÑO OPTIMO

Entre varias alternativas de un proyecto, ya sea por su dimensión o por la solución técnica adoptada, se seleccionará aquella que produzca el más grande beneficio social neto actualizado, incluyendo la posibilidad que implica una inversión nula, o sea el mantener la situación existente, solución válida como cualquier otra, y para la que es posible estimar el flujo de beneficios y costos en un lapso dado.

El problema de la selección del año óptimo de la realización de un proyecto no varía en esencia con el del análisis de selección de alternativas. En efecto un proyecto realizado en los años 1, 2, . . . , j, . . . , no obstante que teóricamente corresponde a una sola variante, puede económicamente considerarse como diversas alternativas, ya que por regla general habrá beneficios netos actualizados $B_1, B_2, \dots, B_j, \dots$, diferentes según el año de su puesta en servicio.

Si se supone una inversión (I) para el cual los beneficios (b_n) dependen solamente del año en cuestión y no del de su puesta en servicio y la vida del proyecto se considera de (N) años, el beneficio neto actualizado (B_j) correspondiente a la puesta en operación en el año (j), es equivalente a:

$$B_j = \sum_{n=j}^{N+j-1} \frac{b_n}{(1+i)^n} - \frac{I}{(1+i)^{j-1}}$$

y análogamente

$$B_{j+1} = \sum_{n=j+1}^{N+j} \frac{b_n}{(1+i)^n} - \frac{I}{(1+i)^j}$$

y consecuentemente

$$B_j - B_{j+1} = \frac{1}{(1+i)^j} \left[b_j - \frac{b_{N+j}}{(1+i)^N} - I_i \right]$$

Dicha diferencia será más grande, igual o menor que -
cero dependiendo si .

$$b_j \leq I_i + \frac{b_{N+j}}{(1+i)^N}$$

y la conveniencia de realizar el proyecto en el año (j) o diferido --
hasta el año (j + 1) dependerá del signo de esta desigualdad. Si -
depreciamos el término

$$\frac{b_{N+j}}{(1+i)^N}$$

por ser demasiado pequeño, cuando (N) es grande y la tasa de - -
actualización (i) elevada, la expresión es más simple

$$b_j \leq I_i$$

o sea, que conviene retardar la puesta en servicio del proyecto -
del año (j) al año (j + 1), si los beneficios perdidos (b_j) son más -
pequeños que la ventaja de posponer la inversión un año, tomando
en cuenta el efecto de la actualización. La fecha óptima (j) de --
realización del proyecto será aquella en la que se cumpla que

$$b_j \geq I_i > b_{j-1}$$

en la que toda anticipación o posposición en la ejecución de la - -
inversión entraña una pérdida para la colectividad.

Esas consideraciones permiten decidir sobre la inclu-
sión o no de un proyecto en el programa de inversiones de un año-

(j) calculando el coeficiente de rentabilidad inmediata (b_j/I), y verificando que sea mayor que la tasa de actualización.

EFEECTO DE RED

Muchas de las inversiones en vías férreas, sobre todo en infraestructura, están interrelacionadas unas con otras, de tal suerte que las consecuencias de un proyecto considerado aisladamente, no son iguales a las que se obtendrían si se le analiza como parte de un sistema o red, en cuyo caso se trata de buscar un programa de efecto óptimo.

En general, dos proyectos A y B considerados uno con relación al otro, son independientes si la realización de uno de ellos no modifica el beneficio neto actualizado del otro, y son interdependientes en el caso contrario. En este último caso A es complementario de B, si su realización aumenta el beneficio neto actualizado de este último y sustituto si conduce a una disminución de dicho valor.

Si se consideran (n) proyectos interdependientes A_1, A_2, \dots, A_n , se pueden formar $2^n - 1$ proyectos diferentes combinándolos entre sí de todas las maneras posibles, siendo factible asignar a cada uno de ellos un beneficio neto actualizado, y el más atractivo será al que corresponda el valor máximo. Sin embargo, cuando el número de iniciativas es elevado, el método descrito es difícil de aplicar, por lo que habrá que buscar una simplificación o auxiliarse de una computadora.

PROGRAMACION

La existencia de limitaciones presupuestarias obliga a posponer la realización de proyectos que actualmente son atractivos desde el punto de vista económico, por lo que es conveniente utilizar métodos de análisis que tomen en cuenta la disponibilidad financiera y la evolución de los beneficios de los proyectos atendiendo a la fecha de su puesta en funcionamiento.

Se denominamos I_{jkh} la inversión necesaria para el proyecto (A_j), afectando recursos financieros (I_h) disponibles du-

rante el año (h), suponiendo que los trabajos fueron iniciados en el año (k), y designamos por (B_{jk}) el beneficio neto actualizado asociado al proyecto, el problema será encontrar las variables (a_{jk}) - que tomarán valores iguales a la unidad, si el proyecto incluido, y a cero, si es excluido de la solución óptima, que conducen al beneficio neto actualizado máximo (B), considerando los (n) proyectos - que se analizan. La función objetivo será entonces:

$$\text{Max } B = \sum_k \sum_{j=1}^n a_{jk} B_{jk}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$1) \quad \sum_k \sum_{j=1}^n a_{jk} \leq I_h \quad \text{para toda } h$$

Con el propósito de que la inversión asignada al conjunto de proyectos en el año (h) no sea superior a la disponibilidad presupuestal (I_h).

$$2) \quad 0 \leq a_{jk} \leq 1 \quad \text{y} \quad a_{jk} \text{ entero}$$

Es decir que las variables a_{jk} tomarán valores enteros e iguales a la unidad o a cero.

$$3) \quad \sum_k a_{jk} \leq 1$$

Lo que significa, que un proyecto (A_j) puede ser iniciado solamente en un año (k) o en ninguno, pero no en varios.

Los índices k y h variarán desde uno hasta el número de años incluidos en el programa o ejercicios presupuestales que se consideran.

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

A lo largo del trabajo hemos hecho referencia a la - - incertidumbre en el conocimiento de algunos datos básicos para - los estudios económicos que servirán en la toma de decisiones de inversión. En los costos de inversión las diferencias entre las - estimaciones y la realidad suelen ser de consideración y las pre- visiones a diferentes plazos que involucra el cálculo de los benefi- cios son discutibles y difíciles de sostener.

Una aproximación posible es el suponer que los valo- res estimados no son valores particulares de las variables aleato- rias correspondientes e intentar determinar las funciones de dis- tribución de probabilidad de la ocurrencia de esas variables, lo - que permite el cálculo de intervalos de confianza para las estima- ciones realizadas. Sin embargo, sin rechazar la utilidad de un - procedimiento como el descrito, su aplicación en las condiciones actuales es demasiado difícil, a causa del poco conocimiento que podemos tener de las variables. Una simplificación más realista es efectuar los cálculos con las estimaciones que se consideran - más probables y además dos posiciones extremas: una optimis- ta y otra pesimista.

Antes de pasar a los aspectos financieros del sector, - en el que se describirán someramente algunos de los principales problemas que afectan a los ferrocarriles en México, nos referi- remos rápidamente a algunas de las características que deben con- tener los programas de inversiones en el área y los errores que - deben de evitarse.

TAMAÑO DE LOS PROYECTOS

Las importantes inversiones que tienen que realizarse en nuevas obras, aumento de capacidad instalada, modernización y reconstrucción de los medios existentes, y en adquisición de - - equipos de toda índole, para hacer frente a los requerimientos de

transporte, obligan, para no incurrir en erogaciones excesivas o prematuras, a diseñar las iniciativas de acuerdo al tamaño justo de la demanda presente y del futuro previsible, sin utilizar técnicas y procedimientos que han sido concebidos para otras condiciones y que para las nuestras resultan dispendiosas, y significan la inmovilización de importantes recursos que se usan con muy bajo rendimiento y productividad, siendo recomendable recurrir a modalidades que se adapten periódicamente a la evolución de las necesidades, que tener capacidad en demasía.

ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS

Las experiencias extranjeras si bien en un gran número de casos son de gran utilidad, hay que evitar su implantación -- indiscriminada, porque no todas son adecuadas a nuestros sistemas, teniendo en cuenta nuestra realidad económica, social y de organización y a la naturaleza y magnitud de nuestros recursos, -- principalmente los humanos. Es por eso que antes de adoptar una innovación habrá que llevar a cabo estudios detallados que nos permitan tomar las decisiones más convenientes.

Particularmente hay que tener en cuenta que el sector transportes está caracterizado por el empleo de gran cantidad de mano de obra; y por otra parte los fuertes problemas de desempleo y subempleo que subsisten en los países en vías de desarrollo, por lo que hay que dar alta prioridad a las técnicas de uso intensivo de mano de obra en los diferentes trabajos y limitar el uso del equipo y la maquinaria a aquellos procesos en los que el tiempo es un factor primordial o la naturaleza de los mismos o su costo social justifique su utilización. No hay que engañarnos con eventuales ahorros en fuerza de trabajo que en algunos casos son discutibles y fuera de nuestra realidad.

DISPERSION DE ESFUERZOS

Otro error que hay que evitar en materia de planeación y programación de inversiones en obras y equipos ferroviarios, -- es la dispersión excesiva de los esfuerzos, iniciando o teniendo al mismo tiempo demasiados proyectos en ejecución, que no tengamos la seguridad de concluir o implementar en lapsos razonables.

Es por eso que en las políticas de inversiones debe darse especial prioridad a la terminación de los proyectos en proceso, a efecto de no prolongar excesivamente los períodos de realización y de -- obtener de ellos los efectos benéficos a la mayor brevedad posible, sin incurrir en inmovilización de recursos de capital que se toman improductivos por largos períodos.

PLAZOS DE LOS PROGRAMAS

Muchos son los factores que explican la duración de -- los planes. Algunas empresas ferroviarias tienen imperativos -- internos de orden político y administrativo que obligan a la selec-- ción de los plazos de los planes.

CORTO PLAZO

Los planes y programas a corto plazo tienen la desven-- taja de que no pueden contribuir al cambio de estructuras más que en una pequeña medida, ya que no proporcionan tiempo suficiente-- para estudiar soluciones o movilizar recursos y de hecho no cons-- tituyen instrumentos eficaces para modificaciones fundamentales.- Un programa demasiado corto no deja tiempo necesario para elabo-- rar y poner en servicio proyectos de gran magnitud y frecuente-- mente en ese plazo no hay otra alternativa que continuar y concluir las acciones en proceso y atacar problemas que son tan graves y - evidentes que no podemos diferir su solución, sin correr el riesgo de causar graves daños a la economía.

MEDIANO Y LARGO PLAZO

En esas circunstancias la mayor parte de las empre-- sas ferroviarias han tenido que optar por planes a más largo plazo. En la práctica es deseable asignarles una duración lo suficiente-- mente breve para permitir proyecciones y estimaciones de tráfico razonablemente precisas, pero un tanto largas para permitir la -- gestación de un suficiente número de proyectos clave.

Los programas demasiado largos en general y particu-- larmente en materia de vías férreas pierden su claridad y utilidad

en lo que se refiere al logro de las metas para los años más lejanos, en los que en gran medida se depende de elementos imprevisibles, sobre todo en este sector en el que se esperan grandes transformaciones, y de los resultados de los primeros años.

Sin embargo, lo que es más importante retener es el hecho de que debemos preocuparnos por el mediano y el largo plazo. El futuro es incierto y hay decisiones que tenemos que preparar, las cuales afectarán seriamente el provenir de los ferrocarriles y que si bien podemos tomarlas hoy libremente, por su naturaleza y carácter irreversible, no podremos tomarlas mañana, sin vernos sujetos a restricciones y limitaciones que nos lo impedirán o harán más difíciles y costosas soluciones.

CONTINUIDAD

Los programas de inversiones independientemente de su plazo, deben estar formulados de tal suerte de asegurar los objetivos a largo plazo, y la planeación debe ser un proceso continuo en el que las coyunturas políticas o administrativas deberán tratar de operarse insensiblemente. El problema del encadenamiento no es fácil y las transiciones algunas veces se presentan de manera ineficaz, tanto por la falta de proyectos, como por el hecho de que su terminación se concentra muchas veces durante los últimos años del plan, dando como resultado una nociva baja de actividad cuando entra en vigor uno nuevo.

FINANCIAMIENTO

El notable crecimiento que ha experimentado el sistema ferroviario en su conjunto en México, es debido, en gran medida, a la importante canalización de recursos financieros que se han destinado por parte del Sector Público a este rubro del transporte; y eso ha sido posible mediante la ampliación y diversificación de las fuentes financieras, lo cual no bastaría, dadas nuestras condiciones, si paralelamente no se hace un vigoroso esfuerzo para su aplicación más racional.

La insuficiencia de los ingresos de los ferrocarriles los imposibilitan para hacer por sí mismos frente a sus requerimientos de inversión, y el Gobierno se ve obligado a contribuir --

con recursos que provienen de la recaudación general o que capta del ahorro interno para ampliar y consolidar los medios con que cuentan las Empresas para la prestación de los servicios de transporte masivo que asegura la vía férrea.

Pero la capacidad de esas fuentes internas no resultan suficientes para resolver los problemas de todo tipo que tiene la Nación y la necesidad de adquirir equipos y maquinaria que no se fabrica en el país, por lo que se precisa, como ha sido hasta el momento, del concurso de fuentes externas, planteando problemas de muy diversa índole, que se refieren tanto a la procedencia de los fondos, como a la regularidad y flexibilidad en su uso.

Entre las fuentes externas podemos distinguir dos clases: La primera, que es la constituida por créditos de proveedores que generalmente se canaliza a través de la banca privada que promueve las exportaciones de los países industrializados; y la segunda, la que proviene de fondos de Instituciones Internacionales de Fomento del Desarrollo de los países miembros de las mismas.

Los créditos directos tienen la ventaja de su mayor accesibilidad y menores requerimientos para su obtención. Sin embargo, las tasas de interés son altas y los períodos de gracia y plazos de amortización reducidos, lo cual origina problemas de capacidad de endeudamiento y de limitación en la disponibilidad de recursos a corto plazo para hacer frente a los compromisos de pasivo.

En cambio las Instituciones Internacionales de Fomento del Desarrollo, generalmente prestan a más bajos intereses y mayores plazos de amortización y frecuentemente son más exigentes en cuanto a los estudios justificativos de las inversiones en cuyo financiamiento participan, lo cual ha incidido favorablemente en la creación de conciencia de la necesidad y utilidad de la planeación y en la implantación de técnicas de evaluación y programación de las inversiones, en los países que se benefician con los préstamos mencionados.

Entre los problemas que resultan del empleo de estos últimos recursos externos, es necesario mencionar que los organismos citados basan sus acciones en estudios de selección que, de acuerdo a las técnicas de evaluación, prueban la bondad de los

proyectos y permiten su jerarquización en base al monto de los -- recursos disponibles. El hecho es que esas técnicas han sido con-- cebidas y desarrolladas en países que han logrado etapas de evolu-- ción muy superiores a las que nos caracterizan y, en ocasiones, -- se apoyan en planteamientos que son ajenos a nuestra realidad y -- en información que en la mayor parte de las veces no se tiene dis-- ponible.

Eso puede provocar que los planes y programas finan-- ciados con créditos de esas Instituciones se relacionen con inver-- siones en mejoramientos y modernizaciones, que si bien garanti-- zan la redituabilidad de los fondos que se manejan, pueden distor-- cionar el logro de determinados objetivos, por implicar gastos -- que aún siendo convenientes, no son los que más contribuyen a -- los efectos que dentro de nuestra evolución general tanto hemos -- insistido, corriéndose el riesgo de comprometerse en ciertos pro-- yectos, más por la oportunidad de los recursos que por la eminen-- te urgencia de los mismos.

Conviene resaltar que el financiamiento de los Bancos corresponde solo a una parte del costo de los proyectos y que el -- monto de su participación varía, dependiendo de la naturaleza de-- las iniciativas y del país de que se trata. En la mayoría de los -- casos, el monto de los préstamos corresponde a la magnitud que-- se derive del contenido importado o componente extranjero de los proyectos.

Lo anterior favorece el uso de técnicas que emplean -- mayoritariamente equipo, lo cual es contradictorio con las políti-- cas de empleo que se inclinan por el uso intensivo de mano de -- obra y sobre todo en las empresas ferroviarias en las que por la abundancia de los recursos humanos, es necesario buscar en for-- ma permanente procedimientos que permitan su máxima utiliza-- ción y productividad.

Un problema más, en el uso de los fondos provenien-- tes de las fuentes ya mencionadas, es el hecho de que al obligar-- a una licitación internacional para la adquisición de equipos de -- todo tipo, en algunos casos conduce a una inconveniente diversifi-- cación de técnicas que desarticulan los sistemas y crean serios -- problemas de operación y mantenimiento, y dificultades de obten-- ción de refacciones de todos tipos y procedencias. En México ha

obligado esa circunstancia a que en muchos rubros de inversión se haya optado por prescindir de los servicios de esas Instituciones y recurrido a otros créditos con menores ventajas, tanto en cuanto a plazo como a intereses.

Otro aspecto que no debemos pasar por alto su señalamiento, es el de algunas exigencias de las Instituciones de Fomento que son impuestas como condicionantes al otorgamiento de los créditos, y aceptando que siempre benefician a los países prestarios y son medidas que quizá de otra manera nunca se implantarían, en muchas ocasiones se relacionan con decisiones que corresponden única y exclusivamente a éstos últimos sin ingerencias ni presiones externas de ningún tipo.

Sin embargo cabe reconocer que las Instituciones de Crédito están conscientes de estos y muchos otros problemas y hacen esfuerzos, dentro de las normas que los rigen, para superarlos. Los procedimientos para preparación, identificación y evaluación de los programas se revisan permanentemente; los tiempos de gestión se han logrado reducir; se ha dado flexibilidad al manejo de recursos; se han buscado fórmulas para proteger a las industrias nacionales; se ha comenzado a dar prioridad a los objetivos sociales y se han dado facilidades para la realización de estudios de preinversión y para proyectos de ingeniería.

Dados los inconvenientes y problemas que significa el uso de fuentes de crédito externas, es necesario que las empresas ferroviarias se preocupen por fortalecer sus finanzas y por utilizar al máximo los equipos y materiales de fabricación nacional, impulsando la industria conexas con el sector.

Es difícil en el corto plazo y dado el estado actual de las cosas, el alcanzar un equilibrio entre los gastos y los ingresos del ferrocarril, y mucho menos la posibilidad de generar excedentes que puedan servir para el financiamiento de las inversiones, en razón de los altos costos y compromisos que tienen que afrontar y servicios públicos que sostener.

Sin embargo, para disminuir el desequilibrio financiero, es indispensable, como ya hemos mencionado, la toma de medidas y acciones en materia de aumento de la productividad y eficiencia en la operación, que conduzcan a menores requerimientos

de inversión y consecuentemente a menores compromisos de crédito y endeudamiento externo.

Es también de vital importancia la disminución de costos y la revisión frecuente de tarifas que ajustándose a la realidad del mercado de los transportes, reduzcan el monto de la carga -- que actualmente los ferrocarriles representan para el Estado, y -- permitan tender a la autosuficiencia.

Además de las medidas citadas, y en el dominio comercial, es necesario mejorar la calidad y diversificación de los servicios. Sin embargo en México, poco puede decirse del servicio de carga, cuya demanda está perfectamente definida y se presta un servicio que, aunque es susceptible de superación, puede -- asegurarse que satisface en buena medida las exigencias de los -- usuarios, pero deben continuarse los esfuerzos dirigidos a la -- implantación de mayor número de trenes unitarios y directos, -- aumentar la velocidad comercial y propiciar el desarrollo del tráfico de remolques sobre plataformas, el transporte de contenedores y el uso de vagones especiales que den más flexibilidad a los usuarios.

En cambio el transporte de pasajeros debe reestructurarse definitivamente, mejorando y transformando radicalmente los servicios masivos entre ciudades cuyo tráfico generado así lo justifique y el transporte suburbano de personas, para lo cual -- será necesario aumentar la velocidad y frecuencia de las corridas, realizar cuantiosas inversiones y lo que es más importante, el -- asegurar el cumplimiento de los horarios, para restituir la confianza de los usuarios.

Para concluir, podemos afirmar que muchas de nuestras preocupaciones en materia de planeación, programación, -- evaluación de proyectos y financiamiento de las inversiones en -- vías férreas, se tienen en otros países en vías de desarrollo y -- que es necesario y conveniente unir esfuerzos y establecer una -- estrecha coordinación y colaboración entre los mismos para hacer el mejor uso de nuestros recursos y contribuir en la mayor medida en los procesos de transformación económica y social -- que caracteriza a nuestros pueblos.

CONCLUSIONES

Los ferrocarriles han contribuído en México, y en la mayor parte de los países, a impulsar su desarrollo en todos sentidos y es de esperarse que el papel que jueguen en el futuro será de mucha mayor significación.

El crecimiento económica y las transformaciones sociales que se presentarán en los próximos años, el congestionamiento de la circulación en las redes viales urbanas e interurbanas, la crisis de energéticos y materias primas, requieren de nuevas categorías y modalidades de transporte ferroviario, que permitan invertir las tendencias actuales, ofreciendo medios alternativos para los usuarios, concebidos a una nueva escala social, geográfica y económica, y no de proporcionamiento indiscriminado de todo tipo de servicios, sino caracterizarse por absorber la demanda que conduzca a una complementación de funciones entre los distintos modos de transporte y que en su conjunto signifique un costo mínimo para la colectividad.

Es necesario contemplar las consecuencias que significa el desarrollo progresivo de las tendencias actuales. De no tomarse medidas enérgicas de reestructuración radical de los servicios, se causarán graves daños a diferentes sectores de la economía, que son difíciles de predecir.

Sin embargo, todo lo anterior significa una transformación profunda de mentalidades, de hábitos y de métodos, que sabemos exige voluntad y decisión; así como de esfuerzos permanentes encaminados al aumento de la productividad y eficiencia en todos sentidos, a la disminución de costos, reformas a la administración y de políticas vigorosas de comercialización; y lo que es muy importante, de la canalización de cuantiosos recursos de inversión, al mantenimiento, ampliación, mejoramiento y consolidación de las instalaciones y equipos disponibles.

En esas circunstancias, es necesario y urgente el impulsar la planeación y programación oportuna de esas actividades y buscar las fuentes más convenientes de su financiamiento, teniendo en cuenta los objetivos específicos para el sector y la necesaria compatibilidad con las políticas y objetivos nacionales.

Son muchos y urgentes los problemas que actualmente viven los ferrocarriles, pero no todos son tan graves ni tan urgentes, y dada la limitación de recursos, es necesario definir prioridades en su ejecución, para lo cual resultan de gran utilidad las técnicas específicas de análisis y evaluación de proyectos, las que no obstante que en algunos casos constituyen ventajosas herramientas, otras veces su aplicación entraña la irracional utilización de los recursos internos o externos del sector, si no verifican la coherencia que aseguran con relación a los objetivos y metas buscadas.

En adición y sin tratar con ello de subestimar las metodologías tradicionales de análisis y jerarquización de proyectos, sino con la intención de llamar la atención sobre las limitaciones en su aplicación, habrá que señalar que en los métodos clásicos de evaluación, si bien se toman en cuenta los ahorros en costos de operación y mantenimiento, que generalmente son cifrables monetariamente, consideran frecuentemente ganancias en tiempo y seguridad que escapan algunas veces a toda estimación económica precisa, así como que dichos procedimientos difícilmente pueden incorporar muchos beneficios que dependen en gran medida de otras acciones paralelas y sobre todo de ventajas indirectas que en muchas ocasiones, con la información disponible no son claramente cuantificables.

También, no hay que olvidar la idea de servicio público, que no siempre es sinónimo de rentabilidad. Debe buscarse una conciliación entre los aspectos puramente económicos y financieros, y lo que es posible imponer a los usuarios, siendo el costo social el que debe predominar. Asimismo, es necesario tomar en cuenta lo valiosos que son los ferrocarriles como instrumento de política económica y social para el Estado.

Por otra parte, en la formulación de planes y programas de inversiones es indispensable tener implícita la idea de dar alta prioridad a los trabajos de mantenimiento y de continuar y concluir los proyectos en proceso, a efecto de obtener los beneficios que de ellos se derivan a la brevedad posible; así como tener en cuenta plazos razonables y asegurar la continuidad de los esfuerzos, de acuerdo con nuestra realidad administrativa; y buscar el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, la aplicación de técnicas y procedimientos propios a nuestra econo-

mía y características sociales y a las limitaciones que nos impone nuestra propia organización.

La máxima racionalidad no solamente se deriva de las consideraciones citadas, sino también de la necesidad de buscar -- fuentes más ágiles y flexibles de financiamiento, con un mínimo de compromisos que limiten nuestra evolución futura, tratando de depender en menor medida del exterior y de tecnologías extrañas, y de fortalecer económicamente a las empresas, para gozar de las ventajas de la autosuficiencia.

Por último, los problemas, soluciones y perspectivas de muchos de los países Latinoamericanos son muy semejantes y debemos hacer esfuerzos para intercambiar experiencias y unidos encontrar los caminos a la superación del sector en cuyo mejoramiento todos estamos comprometidos.

BIBLIOGRAFIA

PUBLICACION	AUTOR
Economía de los Transportes	Sylvain Wickham
La Planificación del Desarrollo	A. Waterston
Manual de Proyectos de Desarrollo Económico	Naciones Unidas
Segundo Symposium Internacional - sobre la Teoría y Práctica de la -- Economía de los Transportes	F. B. de Quiros
La Planeación de los Transportes	Hans A. Adler
Evaluación Económica del Programa de Inversiones 1975 - 1979 de los Ferrocarriles Nacionales de México	Ferrocarriles Nacionales de México
Criterios y Condiciones de una Política Ferroviaria 1976 - 1982	Ferrocarriles Nacionales de México
El Desarrollo y el Medio Ambiente	W. Beckerman
Estadística Ferroviaria Nacional - 1973	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Engineering Economic Analysis in Railroad Planning and Operations	Railway Systems and Management Association

I N D I C E

Página

A) RESUMEN EN ESPAÑOL

B) RESUMEN EN INGLES

C) PONENCIA

Planes	1
Objetivos	2
Política de Transportes	2
Objetivos Específicos	3
Diagnóstico	5
Política de Inversiones	7
Previsiones de Tráfico	9
Evaluación de Proyectos	10
Criterios Financieros y Económicos	10
Influencia del Factor Tiempo	11
Criterios Económicos de Rentabilidad	12
Cálculo de los Costos	15
Cálculo de los Beneficios Económicos	16
Selección de Alternativas y Año Optimo	19
Efecto de Red	21
Programación	21
Análisis de Sensibilidad	23
Tamaño de los Proyectos	23
Especificaciones y Procedimientos	24
Dispersión de Esfuerzos	24
Plazos de los Programas	25
Corto Plazo	25
Mediano y Largo Plazo	25
Continuidad	26
Financiamiento	26
Conclusiones	31

D) BIBLIOGRAFIA



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



ANALISIS DE INVERSIONES

MODELOS DETERMINISTAS DINAMICOS

ACT. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

ABRIL, 1978.

DINAMICOS

MODELOS DETERMINISTICOS DE SELECCION DE PROYECTOS

Rubén Tellez Sánchez

INTRODUCCION

En este capítulo se presentan algunos modelos matemáticos determinísticos relacionados con la selección óptima de proyectos de inversión. El problema al cual están referidos considera la existencia de un conjunto de n proyectos, del cual se debe determinar un subconjunto tal, que sus elementos, además de satisfacer las restricciones reales asociadas, maximicen el beneficio total. La discusión que se presenta se basa en las siguientes definiciones:

DEFINICION

Se dice que un proyecto es indivisible, si no admite realizaciones parciales (es decir, que el proyecto debe rechazarse, o bien realizarse en su totalidad).

DEFINICION

Se dice que dos proyectos son independientes, si la aceptación o el rechazo de uno no afecta la decisión correspondiente al otro, y viceversa (sin limitaciones de presupuesto).

DEFINICION

Se dice que dos proyectos son económicamente dependientes, si la aceptación, o el rechazo de uno afecta los requerimientos y beneficios asociados al otro, y/o viceversa.

DEFINICION

Se dice que dos proyectos son tecnológicamente dependientes, si la aceptación o el rechazo de uno afecta la decisión correspondiente al otro y/o viceversa.

DEFINICION

Se dice que dos proyectos son mutuamente exclusivos, si la aceptación de uno implica el rechazo del otro, y viceversa.

DEFINICION

Se dice que dos proyectos son complementarios, si la aceptación (rechazo) de uno implica la aceptación (rechazo) del otro, y viceversa.

DEFINICION

Se dice que un proyecto es suplementario de otro, si la aceptación del último es condición necesaria para la aceptación del primero.

El análisis que se presenta discute por separado los proyectos independientes y los proyectos dependientes. En ambos casos, solamente se consideran proyectos indivisibles¹.

PROYECTOS INDEPENDIENTES

Los modelos que a continuación se presentan, se refieren a problemas de inversión:

¹ Para proyectos divisibles, ver La Investigación de Operaciones en La Programación de Proyectos de Inversión, de Jaime Eskauriatza Araux, Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, 1973.

cuyos proyectos satisfacen una de las siguientes condiciones:

- i) Que sean proyectos independientes con un periodo de inversión e inicio fijo.
- ii) Que sean proyectos independientes con varios periodos de inversión e inicio fijo.
- iii) Que sean proyectos independientes con varios periodos de inversión e inicio variable.

Para cada modelo se supone que se tienen n proyectos, P₁, ..., P_n, y un horizonte de planeación de m periodos.

D. MODELO DETERMINISTICO PARA PROYECTOS INDEPENDIENTES CON UN PERIODO DE INVERSION E INICIO FIJO. (ESTATICO)

- Sean:
- a_j : la inversión requerida por el proyecto j.
 - c_j : el beneficio asociado al proyecto j.
 - y b : el presupuesto disponible para la inversión.

Este modelo considera que la iniciación de todos los proyectos está restringida a un periodo determinado, y que la inversión se lleva a cabo en el primer periodo del horizonte de planeación.

Como los proyectos son indivisibles, se les puede asociar una variable binaria x_jⁱ, que tomará el valor 1, si el proyecto j es aceptado, y el valor 0, si dicho proyecto es rechazado. De esta manera, el valor del beneficio

La definición de esta variable es la misma para todos los modelos subsiguientes.

total z, proporcionado por cualquier selección, se puede expresar de la manera siguiente:

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \tag{fi}$$

Por otro lado, para que una selección cumpla con la restricción presupuestal establecida, debe satisfacerse la siguiente condición:

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b$$

Finalmente, dado que la solución que se busca es aquella que maximiza (A) entonces el modelo matemático para este problema puede formularse como sigue:

$$\left. \begin{aligned} \text{Max. } z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.a.: } \sum_{j=1}^n a_j x_j &\leq b \\ x_j &= 0 \text{ ó } 1, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \right\} \tag{E}$$

La solución óptima del modelo (E) puede obtenerse por cualquiera de los métodos expuestos en la siguiente parte. No obstante, es conveniente utilizar el método de Ochoa, por ser el más eficiente.

I. MODELO DETERMINISTICO PARA PROYECTOS INDEPENDIENTES CON VARIOS PERIODOS DE INVERSION E INICIO FIJO. (DINAMICO)

- Sean:
- a_{ij} : la inversión requerida por el proyecto j en el periodo i.
 - c_j : el beneficio asociado al proyecto j.
 - b_i : el presupuesto disponible para la inversión en el periodo i.

En este caso se supone que los proyectos considerados, en caso de aceptarse, dan comienzo en un período determinado. La inversión, sin embargo, se puede realizar, dependiendo del proyecto, a lo largo de todo el horizonte de planeación.

Entonces, al igual que en el modelo anterior, el valor del beneficio total proporcionado por cualquier subconjunto de proyectos aceptados será:

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (C)$$

Por otro lado, las restricciones presupuestales por satisfacer, en este caso se expresan de la siguiente manera:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j < b_i, \quad i = 1, \dots, m. \quad (D)$$

En consecuencia, la selección factible que garantice el mayor beneficio será aquella que maximice la expresión (C) y que satisfaga las desigualdades dadas por (D). Dicha selección estará representada por la solución del siguiente modelo:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Max. } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.a.: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j < b_i, \quad i = 1, \dots, m \\ x_j = 0 \text{ ó } 1, \quad j = 1, \dots, n \end{array} \right\} (E)$$

Este modelo también puede resolverse por cualquiera de los métodos expuestos en los capítulos anteriores y, por la misma razón de eficiencia, también se recomienda utilizar el método de Ochoa. Debe hacerse notar que este modelo admite la posibilidad de que el gasto total en un período sea menor que el presupuesto disponible correspondiente, y que además no considera la posibilidad de utilizar tal sobrante para incrementar presupuestos subsecuentes¹.

¹ Ver ejemplo 5.1.

Para tratar el caso contrario, sea S_1 el sobrante del período 1. Entonces:

$$\begin{aligned} S_1 &= b_1 - \sum_{j=1}^n a_{1j} x_j \\ \text{ó } \sum_{j=1}^n a_{1j} x_j + S_1 &= b_1 \end{aligned}$$

Suponiendo que el sobrante del primer período puede aplicarse en el segundo período, entonces la restricción presupuestal en este período estaría dada por:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{2j} x_j &< b_2 + S_1 \\ \text{ó } \sum_{j=1}^n a_{2j} x_j - S_1 &< b_2 \end{aligned}$$

y el sobrante por:

$$\begin{aligned} S_2 &= b_2 - \sum_{j=1}^n a_{2j} x_j + S_1 \\ \text{ó } \sum_{j=1}^n a_{2j} x_j - S_1 + S_2 &= b_2 \end{aligned}$$

En general, la expresión para el sobrante en el período i será:

$$S_i = b_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + S_{i-1} \quad (i > 1)$$

y la restricción de presupuesto correspondiente estará dada por:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - S_{i-1} + S_i = b_i \quad (F)$$

Por lo tanto, el modelo asociado al problema anterior, considerando que el excedente de un período se puede utilizar en el siguiente, se puede formular de la siguiente manera:

⑦

$$\left. \begin{aligned} \text{Max. } z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.a.: } \sum_{j=1}^n a_{1j} x_j + S_1 &= b_1 \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - S_{i-1} + S_i &= b_i, \quad i = 2, \dots, m \\ x_j &= 0 \text{ ó } 1, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \right\} (G)$$

Este modelo puede resolverse por el método de programación entera mixta de Lemke-Spielberg¹.

II. MODELO DETERMINISTICO PARA PROYECTOS INDEPENDIENTES CON VARIOS PERIODOS DE INVERSION E INICIO VARIABLE.

- Sean:
- a_{ijt} : la inversión requerida por el proyecto j en el periodo i , si se inicia en el periodo t .
 - c_{jt} : el beneficio asociado al proyecto j si se inicia en el periodo t .
 - b_i : la cantidad de presupuesto disponible en el periodo i .
 - t_j : periodo límite para el inicio del proyecto j .

En este modelo, a diferencia del anterior, se admite la posibilidad de que un proyecto aceptado pueda ser iniciado en uno de varios periodos establecidos. En este caso se considera una variable binaria x_{jt} , que toma el valor cero, si el proyecto j no se realiza en el periodo t , y el valor uno, en caso contrario. Como la realización de un proyecto es única, este problema tiene asociada la siguiente restricción:

$$\sum_{t=1}^m x_{jt} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

¹Lemke, D. E., and Spielberg, K. (1967). *Direct Search Zero-One and Mixed Integer Programming*. *Oper. Res.* 15, 492-494.

⑧

Adicionalmente, cada proyecto debe iniciarse, en caso de ser aceptado, a más tardar en el periodo t_j , i. e.:

$$\sum_{t=t_j+1}^m x_{jt} = 0, \quad j = 1, \dots, n$$

Por último, las restricciones presupuestales quedan expresadas de la siguiente manera:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^m a_{ijt} x_{jt} \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m$$

Por lo tanto, como lo que se busca es aquél subconjunto que maximice el retorno y cumpla con las restricciones anteriores, el modelo correspondiente a este problema puede formularse como sigue:

$$\left. \begin{aligned} \text{Max. } z &= \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^m c_{jt} x_{jt} \\ \text{s.a.: } \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^m a_{ijt} x_{jt} &\leq b_i, \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{t=1}^m x_{jt} &\leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{t=t_j+1}^m x_{jt} &= 0, \quad j = 1, \dots, n \\ x_{jt} &= 0 \text{ ó } 1, \quad j = 1, \dots, n \\ &\quad t = 1, \dots, m \end{aligned} \right\} (H)$$

Este modelo también puede resolverse por cualquiera de los métodos expuestos en este trabajo. Sin embargo, por la razón mencionada anteriormente, se recomienda utilizar el método de Ochoa.

Si adicionalmente se quisiera incorporar al análisis la utilización de los sobrantes en cada periodo, bajo el mismo razonamiento que en la sección anterior, se obtendría el siguiente modelo:

$$\begin{aligned} \text{Max. } z &= \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^m c_{jt} x_{jt} \\ \text{s.a.: } & \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^m a_{1jt} x_{jt} + S_1 = b_1 \\ & \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^m a_{ijt} x_{jt} - S_{i-1} + S_i = b_i, \quad i = 2, \dots, m \\ & \sum_{t=1}^m x_{jt} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ & \sum_{t=j+1}^m x_{jt} = 0, \quad j = 1, \dots, n \\ & x_{jt} = 0 \text{ ó } 1, \quad \begin{matrix} j = 1, \dots, n \\ j = 1, \dots, m \end{matrix} \end{aligned} \quad (I)$$

También en este caso, se puede utilizar el método de Lemke-Spielberg.

CASO 2. PROYECTOS DEPENDIENTES

Por lo que a este trabajo respecta, se considera únicamente el caso de dependencia tecnológica (ver definición 4). Específicamente, se analizan aquellas relaciones de dependencia determinadas por las definiciones 5, 6 y 7. Dichas relaciones pueden ser incluidas en los modelos formulados en la sección anterior, mediante restricciones adicionales.

PROYECTOS MUTUAMENTE EXCLUSIVOS

Supóngase que de los n proyectos considerados, r son mutuamente exclusivos. La restricción correspondiente a la relación definida por dichos proyectos puede expresarse de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^r x_i \leq 1 \quad (J)$$

Para dependencia económica, ver *Southeast Asian Regional Transport Survey*, Book Three, Appendix M, Arthur D. Little, Inc. and Associated Contractors, 1971.

suponiendo, sin pérdida de generalidad, que dicha relación afecta a los primeros r proyectos.

La inclusión de (J) garantiza que, de los r proyectos mencionados, solamente uno puede ser aceptado.

PROYECTOS COMPLEMENTARIOS

En el caso en que dos proyectos P₁ y P₂ sean complementarios, se puede añadir la siguiente restricción:

$$x_1 - x_2 = 0 \quad (K)$$

Es evidente que (K) se satisface únicamente si, simultáneamente, x₁ y x₂ son cero ó uno, o, equivalentemente, si ambos proyectos se aceptan o si ambos se rechazan.

PROYECTOS SUPLEMENTARIOS

Finalmente, si el proyecto P₂ es suplementario del proyecto P₁, se puede incluir la siguiente restricción:

$$x_1 - x_2 \geq 0 \quad (L)$$

Esta restricción asegura que el proyecto 2 puede ser aceptado, sólo si el proyecto 1 ha sido aceptado.

En los tres casos, los métodos de solución recomendados no varían, con excepción de aquellos en que se incluyan restricciones de la forma (K) o (L), en los cuales el recomendado pasará a ser (o seguirá siendo) el método de Balas.

10

III. MODELO DE INSUMO PRODUCTO PARA PROGRAMACION DE PRODUCCION, INVENTARIOS Y EXPANSION DE CAPACIDAD.

Introducción

La primera aplicación de las técnicas de la programación lineal en el campo de la economía fué en el área interindustrial o análisis de insumo producto; en esta parte se usa tal análisis para la formulación inicialmente de su modelo estático que permita definir la programación de producción y almacenamiento; y posteriormente la formulación de un modelo dinámico para la programación de la producción, almacenamiento y expansión de la capacidad de una empresa.

Formulación de los Problemas

Sean:

X_i , la producción total, en dinero, del producto "i" durante un período base.

X_{ij} , cantidades totales, en dinero, requeridas del insumo "i" para producir el producto "j" durante un período base.

Y_i , consumo final, en dinero, del producto "i"

$i, j = 1, 2, \dots, m$; número de productos.

De las definiciones anteriores, se pueden establecer las interrelaciones siguientes:

$$X_i - X_{i1} - X_{i2} - \dots - X_{im} = Y_i \quad , \quad i = \overline{1, m} \quad (1)$$

Sea $a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j}$, cantidad de producto "i" que se necesita para producir una unidad de producto "j". Las a_{ij} son los coeficientes de insumo-producto. Para el período base se tendrá:

$$X_i - a_{i1} X_1 - a_{i2} X_2 - \dots - a_{in} X_n = Y_i \quad , \quad i = \overline{1, m}$$

o matricialmente escrito: $(I - A) X = Y$ (2)

donde: $A = (a_{ij})$, $X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_m \end{bmatrix}$, $Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_m \end{bmatrix}$

La matriz $(I - A)$ se conoce como matriz de Leontief. Suponiendo lineal la estructura del proceso económico, o sea, que los coeficientes de insumo producto describan la actividad del proceso de producción no sólo para el período base de tiempo sino también para períodos futuros de tiempo, se puede determinar un vector de producción y que satisfaga un vector pronosticado y de consumo final. El problema general del análisis de insumo producto es encontrar el vector X que satisfaga las restricciones:

$$X \geq 0, (I - A) X = Y$$

donde Y es el vector de consumo final dado, no negativo y no cero y A es la matriz de los coeficientes de insumo producto. Para el problema considerado, --- aquel con consumo final no nulo, se puede demostrar no sólo que $a_{ij} \geq 0$ sino tam-

bién que $\sum_{i=1}^m a_{ij} < 1$ para $j = \overline{1, m}$. Esta estructura se llama un modelo abierto.

También se demuestra que si una matriz satisface la condición $\sum_{i=1}^m |a_{ij}| < 1$ para

$j = \overline{1, m}$; entonces $(I - A)$ es no singular. Por lo tanto, se tiene la solución $X = (I - A)^{-1} Y$

El tratamiento del modelo interindustrial como un modelo de programación lineal interpreta las ecuaciones (3) como un sistema de desigualdades:

$$(I - A) X \leq Y \tag{4}$$

En este caso las soluciones no tienen porque satisfacer las necesidades de consumo final y para las desigualdades de (4), el sistema de ecuaciones (igualdades) correspondiente es

$$(I - A) X + W = Y \tag{5}$$

donde la W es un vector columna de " m " dimensiones cuyas componentes W_i son elementos de holgura no negativos. Se puede establecer ahora una función objetivo, que puede interpretarse en varias formas. Por ejemplo si " C_j " es la utilidad por unidad de producto " j " producido, entonces una función objetivo apropiada sería maximizar la utilidad total CX . Se considera que los coeficientes de costo de las variables de holgura son cero. Otra función objetivo sería la que especificase la maximización de la producción de cada producto, o combinación de productos, en cuyo caso se tendría; maximizar $Z = X_1 + \dots + X_m$

Además se podría estipular que el nivel de producción X_j de la industria " j " no debe exceder una capacidad disponible conocida para la producción del producto

"i". Designando estos niveles de capacidad por "L_i", sea el vector de nivel de capacidad $L = (L_1, L_2, \dots, L_m)$ un vector columna no negativo. Entonces $X \leq L$. Se puede suponer también que parte de la producción de algunos productos se usa para almacenar productos terminados. Estas unidades se pueden distribuir en el período de tiempo siguiente y se pueden usar para satisfacer las nuevas necesidades de consumo final. Denotando con S_{0i} el inventario del producto "i" disponible de la producción anterior y sea el vector de inventarios, $S_0 = (S_{01}, S_{02}, \dots, S_m)$ un vector columna no negativo. Se puede expandir el sistema (5) en el siguiente problema de programación lineal:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } Z = CX \\
 & \text{sujeta a:} \\
 & (I - A) X + W = Y - S_0 \qquad (6) \\
 & X + U = L \\
 & X \geq 0
 \end{aligned}$$

donde $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ es un vector columna no negativo y donde U representa la capacidad no usada de la industria "i". Al sistema (6) se le conoce como un modelo de Leontief estático porque sólo considera el proceso económico en un sólo período de tiempo.

Una aplicación más interesante del modelo interindustrial es su uso para interpretar la conducta del proceso productivo por varios períodos de tiempo. Para hacer esto, debemos introducir los siguientes cambios en la notación: Sea "n", el número total de períodos de tiempo considerados y sea $t = \overline{1, n}$ cualquier período de tiempo específico. Entonces para cualquier "t" tenemos los vectores columna no negativos:

$$X_t = (X_{t1}, \dots, X_{tm}), \text{ vector de producción}$$

$$Y_t = (Y_{t1}, \dots, Y_{tm}), \text{ vector de consumo final}$$

$$S_t = (S_{t1}, \dots, S_{tm}), \text{ vector de almacenamiento causado por la producción no usada hasta el mes "t" e incluyéndolo. Estos inventarios están disponibles en el mes "t+1".}$$

$$U_t = (U_{t1}, \dots, U_{tm}), \text{ vector de capacidad no usada.}$$

Suponemos que conocemos el vector de inventarios iniciales S₀ y que el vector de nivel de capacidad básica L es el mismo para todos los períodos de tiempo.

La diferencia principal entre los modelos estático y dinámico está en que en el modelo dinámico se toman medidas para permitir la expansión de los niveles de capacidad de cada industria para satisfacer las necesidades futuras de consumo final. En

cada período de tiempo se le agrega a "L" un vector no negativo "V_t", el cual representa las capacidades adicionales disponibles. Para conseguir esto, se requiere conocer, además de la matriz de Leontief apropiada, (I-A), la correspondiente a la matriz cuadrada de orden mxm, B, de coeficientes de capital.

B es una matriz de números no negativos en la cual la j-ésima columna representa los recursos necesarios de cada producto para tener una unidad adicional de capacidad para la producción del j-ésimo producto. Sea $V_t = (V_{t1}, \dots, V_{tm})$, el vector no negativo de expansión de capacidad; donde V_{ti} es la capacidad adicional requerida para la producción unitaria del producto "i" en el período "t".

Entonces el i-ésimo renglón del producto BV_t o sea, $b_{i1} v_{t1} + b_{i2} v_{t2} + \dots + b_{im} v_{tm}$, representa la cantidad de producción del i-ésimo recurso que se usa para construir capacidad adicional en el período t, para todos los productos de la empresa. Esta producción no está disponible para satisfacer las necesidades de consumo final. En este modelo se supone que la capacidad de producción adicional está disponible en el período de tiempo siguiente (t+1). También se supone que las matrices (I-A) y B son aplicables a todos los "n" períodos de tiempo y que las necesidades de consumo final serán satisfechas. Para cada período de tiempo, se pueden resumir las condiciones anteriores como sigue:

$$(I-A) X_t + S_{t-1} = Y_t + BV_t + S_t \tag{7}$$

$$X_t + U_t = L + \sum_{q=1}^{t-1} V_q \tag{8}$$

para $t = \overline{1, n}$. La ecuación (7) establece que para cualquier "t", el producto total más los inventarios previos son iguales a las necesidades de consumo final y de expansión de capacidad para el producto más el inventario no utilizado en el período actual. La ecuación (8) iguala el total usado y la producción no utilizada a la suma de la capacidad de producción inicial y a los aumentos previos en la capacidad de producción. Se puede reorganizar estas ecuaciones como sigue:

$$\begin{aligned} (I-A) X_t - BV_t - S_t + S_{t-1} &= Y_t \\ X_t - \sum_{q=1}^{t-1} V_q + U_t &= L \end{aligned} \tag{9}$$

Para cualquier conjunto dado de Y_t , L y S_0 , se puede construir la tabla de coeficientes mostrada en la tabla 1. Los sistemas de este tipo se denominan "triangular en bloques". Dada la función objetivo apropiada, que puede incluir producción, expansión, y costos de almacenamiento, el problema se podría resolver por el procedimiento simplex estandar.

(15)

Sin embargo, aún para unos cuantos períodos de tiempo, el número de ecuaciones y variables se vuelve demasiado grande para manejarse eficientemente, aún en -- computadores. Se puede reducir la cantidad de cómputo ya sea sacando provecho de la configuración triangular en bloques (con su alta densidad de elementos que son cero) o ya sea reduciendo el número de ecuaciones al transformar el sistema.

Tabla 1.- Configuración de los Coeficientes del Modelo de Insumo-Producto Dinámico

	X ₁	V ₁	S ₁	U ₁	X ₂	V ₂	S ₂	U ₂	...	X _n	V _n	S _n	U _n
Y ₁ - S L	(I-A) I	-B	-I	I									
Y ₂ L					(I-A) I	-B	-I	I					
⋮													
Y _n L										(I-A) I	-B	-I	I

8.3 Datos requeridos

La información requerida por los modelos discutidos es difícil de estimar apropiadamente, específicamente los coeficientes de insumo producto "a_{ij}" y "b_{ij}" de las matrices A y B. Además de esto se requiere conocer el valor de las componentes del vector L de capacidad inicial, el vector Y_t de consumo final para cada período del horizonte de planeación considerado y las componentes del vector S₀, de los inventarios iniciales.

IV

La Expansion de Capacidad en un Sistema de Producción

En esta sección se establece la formulación de un modelo para la expansión de capacidad de un sistema de producción, a través de la estructura de un problema de control óptimo en tiempo discreto. Inicialmente se establecen: la política del modelo, la información de entrada, la información de salida, y las variables de decisión, para finalmente establecer el modelo.

Política:

Todas las demandas deben ser satisfechas por producción interna de la compañía o por compras de proveedores externos.

Información de Entrada:

- i) Horizonte de planeación (10 años)
- ii) Predicciones de las diferentes demandas
- iii) Posición presente de capacidad del sistema
- iv) Posibles lugares donde los almacenes y agencias de ventas podrán construirse
- v) Predicciones de los precios de compra (externos).
- vi) Tasa de interés a regir para la empresa; índice de la rentabilidad deseada de la inversión (después de impuestos).
- vii) Costo de capital (fijos)
- viii) Costos variables de fabricación incurridos por la planta, almacenes y agencias de ventas.
- ix) Costos de distribución e inventarios

Información de Salida:

- i) Plan óptimo (costo mínimo) de expansión de capacidad de planta
- ii) Plan óptimo de compra externa
- iii) Plan óptimo de distribución de producción; producción total de la empresa entre las diferentes almacenes y su asignación a los diferentes mercados
- iv) Programa de inversiones óptimo
- v) Costo total en valor presente de la política óptima.
- vi) Análisis de sensibilidad

Variables de Decisión :

- X_i^t : Capacidad de la planta "i" al principio del tiempo t.
- U_i^t : Capacidad añadida a la planta "i" al principio del tiempo t y utilizable dentro del mismo período

- S_i^t : Exceso de capacidad de la planta "i" de tiempo "t" (variable de holgura).
- Y_k^t : Inventario en el almacen "k" al final del tiempo "t".
- Z_{kj}^t : Embarques del almacen "k" al centro de demanda "j" en el tiempo "t"
- q_{ik}^t : Producción de la planta "i" dedicada al almacen "k" durante el tiempo "t"
- v_{ij}^t : Producción de la planta "i" dedicada al centro de demanda "j" durante "t"
- w_j^t : Compras externas durante el tiempo "t" para el centro de demanda "j"
- d_j^t : Predicción de la demanda en el centro "j" durante "t".
Para $j = \overline{1, n}$, $k = \overline{1, p}$, $t = \overline{1, T}$

El problema consiste en minimizar:

$$J = \sum_{t=1}^T p^t h^t (x^t, u^t, q^t, s^t, v^t, w^t, y^t, z^t, d^t) \quad (1)$$

donde h^t incluye:

- Costos de añadir capacidad
- Costos de exceso de capacidad y de mantenimiento
- Costos de producción y distribución
- Costos de inventarios
- Costos de compras externas
- $p^t = (1 / (1 + r))^t$, r: tasa de interés,
factor de descuento : $p^t \leq 1$

La "J" a minimizar en (1) esta sujeta a las siguientes restricciones:

i) Restricciones de Capacidad Añadida:

$$X_i^t - X_i^{t-1} = U_i^t, \quad t = \overline{1, T}$$

$$X_i^0 = \delta_i \geq 0$$

ii) Restricciones en los Inventarios:

$$Y_k^t - Y_k^{t-1} = \sum_{i=1}^m q_{ik}^t - \sum_{j=1}^n z_{kj}^t$$

$$Y_k^0 - U_k \geq 0, \quad k = \overline{1, p}, \quad t = \overline{1, T}$$

iii) Restricciones de Capacidad de Producción:

$$\sum_{j=1}^m v_{ij}^t + \sum_{k=1}^p g_{ik}^t + s_i^t = X_i^t \quad , \quad t = \overline{1, T}$$

iv) Restricciones de Demandas:

$$\sum_{i=1}^m v_{ij}^t + \omega_j^t + \sum_{k=1}^p z_{kj}^t = d_j^t$$

v) Todas las Variables deben ser ≥ 0

Se obtienen: $(3m + n + mp + np + p + n)T$ variables
 $(m + n + p)T$ restricciones

El Cálculo de los Parámetros del Modelo

Obtención de los Costos de Capital de Acumulación de Capacidad

Características de la acumulación de capacidad: Se tienen varias actividades ocurriendo a diferentes tiempos y con costos asociados a intervalos de tiempo variables.

Actividades:

- i) Adquisición del terreno para almacenes y agencias de venta. Se requiere de uno a dos años de anticipación antes de que la planta comience a operar.
- ii) Construcción de la agencia de ventas y/o almacén: el tiempo de construcción puede variar de 6 a 18 meses después de la compra del terreno, los costos de construcción se suponen que ocurren uniformemente en todo el intervalo de construcción, la vida útil de un edificio se estima de 45 años.
- iii) Acondicionamiento de terreno: esta actividad casi siempre ocurre simultáneamente con la construcción de la planta. La vida útil de esta actividad se estima de 20 años.
- iv) Maquinaria y equipo: la vida útil de la maquinaria y del equipo se estima ser de 15 años.
- v) Herramientas pequeñas: vida útil de 4 años

- (10)
- vi) Muebles y equipo: vida útil de 10 años
- vii) El arranque de la planta y el mantenimiento: los costos en iv), v), y vi), se suponen incurridos en un período de tiempo de 12 meses, al comienzo de las operaciones de la planta, los costos de arranque se suponen que ocurren instantáneamente antes de que la planta empiece a operar, en los costos de mantenimiento se incurre cada año. Los costos del terreno, acondicionamiento del terreno y de construcción se tienen solamente una vez y son tratados como los componentes del costo fijo asociado con la apertura de un nuevo almacén o agencia de ventas. En general dependen de su tamaño máximo y no de la capacidad instalada en cualquier tiempo. Los costos de maquinaria, herramientas, muebles y equipos son incurridos cada vez que se incrementa la capacidad instalada y son por consiguiente costo variables.

1. Cálculo de la Componente Fija del Costo de Acumulación de la Capacidad. Componente fija: terreno, acondicionamiento del terreno, construcción, y algunos costos de arranque y mantenimiento. El almacén y/o agencias de ventas se supone que comienzan a operar al tiempo t , dentro del horizonte de planeación

- i) Terreno. Supongase que el tiempo de anticipación requerido para la compra del terreno es de dos años, y que el costo estimado del terreno es de c_L^0 al tiempo t_0 y que la tasa de crecimiento para este costo es de g_L por año, el costo real pagado por el terreno $t_1 - 2$ es de

$$C_L = c_L^0 (1 + g_L)^{((t_1 - 2) - t_0)}$$

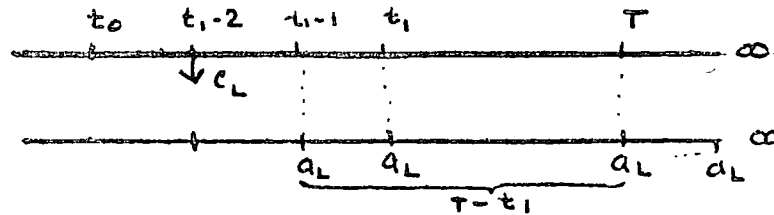
como la vida económica del terreno se supone ser indefinida (infinita), el costo (asociado) anual asignado es el pago anual constante (level revenue requirement) obtenido de C_L y correspondiente a la tasa de interés requerida "i" :

$a_L = C_L \cdot i$ donde a_L es el costo anual asignado, del terreno.

Para calcular el valor equivalente al tiempo t , del flujo de dinero asignado para el horizonte restante $T - t$, las siguientes consideraciones deben ser hechas:

- a) El flujo de dinero empieza antes de que el terreno este listo para usarse.

- b) El terreno permanecerá en uso mucho tiempo después de la terminación del horizonte de planeación:



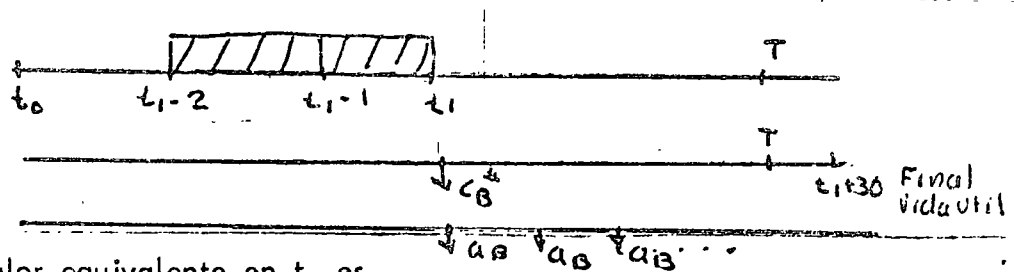
La cantidad L es el valor equivalente al tiempo t_i , del flujo de dinero a_L efectivo por un período de longitud $T - t_i$, y empezando al tiempo t_{i-2} .

$$L = \sum_{k=1}^{T-t_i} a_L \left(\frac{1}{1+i}\right)^k (1+i)^2$$

- ii) Construcción y Acondicionamiento del Terreno: definiendo; C_B^c costo de construcción y acondicionamiento, estimado para el tiempo t_0 (las erogaciones se suponen uniformemente repartidos durante el período de construcción). g_B : tasa de crecimiento del costo C_B^c (se suponen aplicado en cada período desde la mitad del período total de construcción).

El costo anual promedio de construcción y acondicionamiento de terreno C_B es:

$$C_B = \frac{C_B^c (1+g_B) \left[\frac{(t_1 - \text{tiempo construcción}) - t_0}{2} \right]}{\text{tiempo de construcción}}$$



El valor equivalente en t_i , es

$$C_B^* = C_B + C_B(1+i) + \dots + C_B(1+i)^{t_i - t_0}$$

El costo anual equivalente de construcción y acondicionamiento del terreno es:

$$a_B = C_B^* (\text{factor recuperación capital a 30 años con tasa "i"})$$

Finalmente, el costo neto efectivo de construcción y acondicionamiento de terreno para el período de tiempo entre t_1 y T está dado por:

$$B = C_B \text{ (factor de valor presente serie uniforme en } T-t_1 \text{ años, tasa de interés "i")}$$

2. Cálculo de la Componente Variable del Costo de Acumulación de Capacidad.

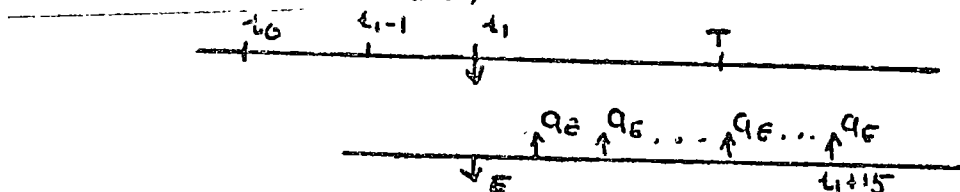
- i) Costos del equipo: maquinaria y herramientas pequeñas, muebles y equipos misceláneos.

Suponiendo que C_E^0 es la estimación del costo del equipo en t_0 . El costo en tiempo t_1 es

$$C_E = C_E^0 (1 + g_E)^{(t_1 - t_0)}$$

donde g_E es la tasa de crecimiento anual para el costo del equipo. La vida útil del equipo se supone ser de 15 años. - El costo anual equivalente es:

$$a_E = C_E \text{ (factor de recuperación de capital a 15 años)}$$



El costo de capital efectivo para el equipo equivalente al tiempo t_1 es: $E = a_E$ (factor de valor presente de una serie uniforme para el intervalo: $T - t_1$)

- ii) Costos de arranque: Si C_S^0 es el costo de arranque estimado en t_0 con una tasa de crecimiento de g_S por año, - el costo de arranque en t_1 para la nueva capacidad es:

$$S = C_S^0 (1 + g_S)^{(t_1 - t_0)}$$

- iii) Costos de mantenimiento: g_M , tasa de crecimiento:

$$M = C_M^0 (1 + g_M)^{(t_1 - t_0)}$$

$$\text{Costos variables totales: } C_{VT} = E + S + M$$

V MODELO DE ASIGNACION PRESUPUESTAL

La asignación de recursos de investigación, involucra:

- El establecimiento de objetivos; planteados en las dos primeras secciones.
- La elaboración de alternativas; realizada en la segunda sección.
- La evaluación de los costos y beneficios de las alternativas; considerada en las secciones segunda y tercera, y
- La selección entre las alternativas; una respuesta a esta cuestión esta dada al elegir aquellos proyectos que maximicen el beneficio total, sujetandose a la restricción de que la suma de los costos de los proyectos, en cada periodo de planeación no sea superior a la cantidad total disponible. Matemáticamente, el problema se puede formular en la siguiente forma.

Definiremos las variables como sigue:

- B_i vector de beneficios en el proyecto i de elementos b_{ij} .
- b_{ij} beneficio en el proyecto i ($i=1, 2, \dots, n$), en el período j ($j=1, 2, \dots, m$).
- C_k matriz de costos del proyecto k .
- c_{ij}^k inversión en el período j para el proyecto i .
- P vector de presupuesto.
- P_j presupuesto disponible en el período j ($j=1, 2, \dots, m$).
- X_i vector de decisiones para la realización del proyecto i ; de elementos x_{ij} .
- X_{ij} variable de decisión asociada con la iniciación del proyecto i en el período j ; que puede ser 0 ó 1.

23

d_i duración del proyecto i .

donde n es el número total de proyectos y m el número de períodos del horizonte de planeación.

Así podemos formular el problema de asignación óptima de recursos en n proyectos indivisibles como:

$$\text{Max} \quad \sum_{i=1}^n (B_i, X_i)$$

$$\sum_{i=1}^n C_i X_i \leq P$$

$$\sum_{j=1}^r x_{ij} \leq 1 \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

donde $r = m - d_i + 1$.

La matriz C_{ij} , se forma en términos de la duración de cada proyecto y el horizonte de planeación, resultando de orden $m \times (m - d_i + 1)$.

El número de variables binarias involucradas en el problema, es por lo tanto:

$$\sum_{j=1}^n (m - d_i + 1)$$

Por otra parte, los vectores X_i y B_i contienen el mismo número de elementos, ya que cada decisión de iniciar un proyecto en determinado período, tienen asociado determinado beneficio.

El tipo de estructura que resulta de este problema, puede quedar condensado en forma matricial de la siguiente manera:

$$\text{Max} \quad \sum_{i=1}^n (B_i, X_i)$$

$$\begin{bmatrix} C_1 & & & & & \\ & C_2 & & & & \\ & & C_3 & & & \\ & & & \dots & & \\ & & & & C_n & \\ & 1 \dots 1 \dots 1 & & & & \\ & & 1 \dots 1 \dots 1 & & & \\ & & & 1 \dots 1 \dots 1 \dots & & \\ & & & & 1 \dots 1 \dots 1 & \\ & & & & & X_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \end{bmatrix} \cong P$$

donde

$$X_i \in R^{m-d_i+1} \quad (con \text{ componentes } 0 \text{ ó } 1).$$

y cada matriz:

$$C_k = \begin{bmatrix} C_{12}^k & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ C_{12}^k & C_{22}^k & 0 & 0 & \dots & 0 \\ C_{1 d_k}^k & C_{23}^k & C_{33}^k & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C_{2 d_k}^k & & & & \cdot \\ 0 & 0 & C_{3 d_k}^k & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & 0 & & & C_{r r}^k \\ 0 & 0 & 0 & & & C_{r d_k}^k \end{bmatrix}$$

Referencias.

(25)

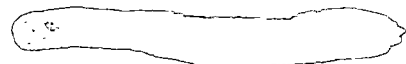
1. Calero Domielin Jose: "El Problema de Evaluación y Selección de Proyectos de Inversión; Métodos de Solución y Programación Integrada de Algoritmos" - Tesis Profesional, Fac de Ciencias. 1976
2. Cobian Miguel; Tesis Doctoral, Universidad de Stanford.
3. Eskauriatza Aiaru Jaime: "La Investigación de Operaciones en la Programación de Proyectos de Inversión". Tesis Profesional, Fac. de Ciencias. 1973
4. Gass Saul: Programación Lineal. Edit CEGSA
5. Boletín del Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas; Números 6 y 10; julio-agosto de 1971 y marzo-abril de 1972.

ANALISIS DE INVERSIONES

APLICACION

SISTEMA ADAPTIVO PARA LA PROGRAMACION
INTEGRAL DE LA SOP.

ING. HUMBERTO VALDES RUY SANCHEZ



SISTEMA ADAPTIVO PARA LA PROGRAMACION INTEGRAL DE LA SOP

- . PROGRAMACION COMO UN TODO . -

Por. Humberto Vaidés Ruy Sánchez

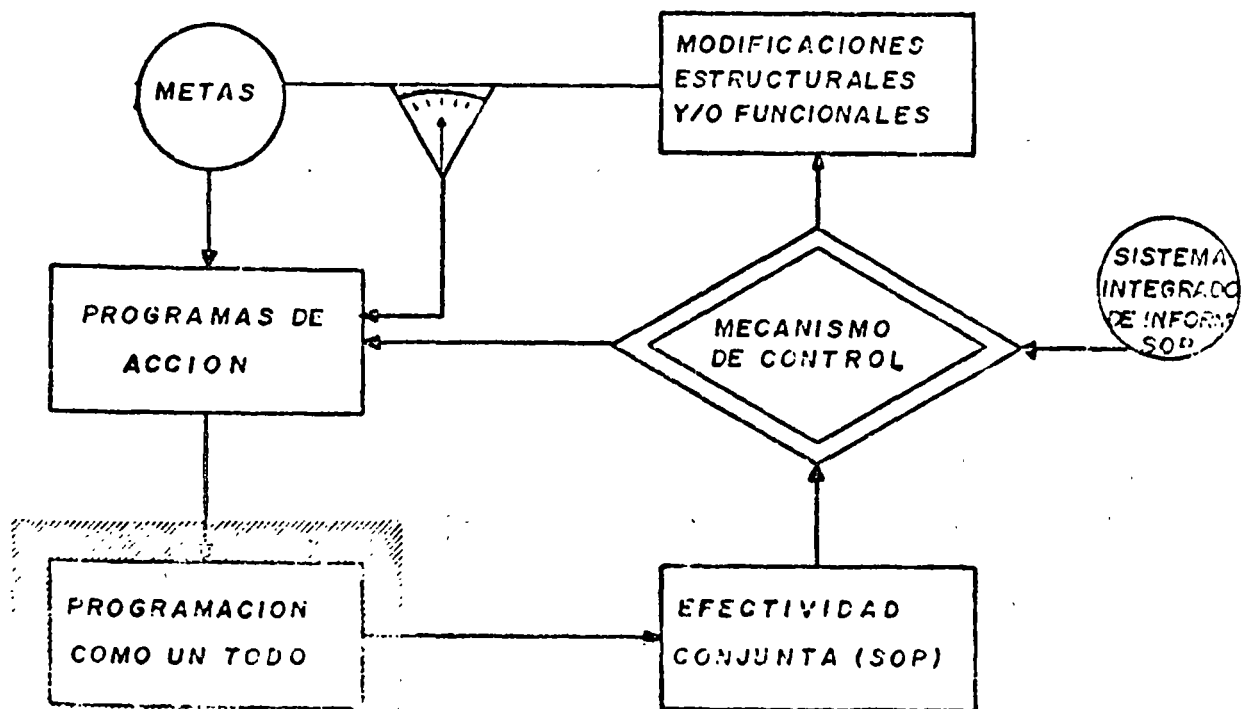
INTRODUCCION

Con el fin de ubicar la parte a que se refiere esta exposición, dentro del marco general del SAPRIN-SOP, se reproduce en la Figura 1 el esquema que corresponde a la conceptualización del Sistema, destacándose en el mismo, la etapa de "Programación como un Todo".

SAPRIN - SOP

SISTEMA ADAPTIVO PARA LA PROGRAMACION INTEGRAL DE LA SOP

(Conceptualización)



Los insumos de esta etapa lo constituyeron las metas establecidas al inicio de la presente Administración, mismas que originaron la necesidad de que la SOP trabajase con base en los 11 Programas anteriormente mencionados. Como producto se obtuvo la programación de los Programas propiamente dicha, habiéndose tenido que dar solución para alcanzarla a las siguientes preguntas:

- ¿Qué inversión se debería manejar cada año con el fin de lograr la consecución de las metas y cómo y de dónde se deberían obtener los recursos financieros que se hiciesen necesarios para ello?
- ¿Qué inversión anual se debería destinar a cada uno de los Programas a cargo de la SOP de manera de cumplir las metas y obtener el mejor efecto en cuanto a los objetivos planteados?
- ¿Qué porcentaje de la meta total fijada para cada Programa debería cubrirse cada año y qué recursos (humanos, maquinaria y materiales), propios y ajenos, se necesitarían para la constitución de las metas anuales resultantes?

- ¿Cuándo y con qué recursos se deberían ejecutar las obras cuya realización permitiría alcanzar las metas?
- ¿Cómo, cuándo y con qué recursos se deberían llevar a cabo las diferentes actividades que constituyen cada una de las obras realizadas?

En la Figura 2 se muestra por medio de una caja negra lo antes mencionado, observándose que para responder a las interrogantes antes comentadas, fué necesario, dada la complejidad y magnitud del problema, dividir el sistema en 5 subsistemas en serie, uno por cada una de las preguntas planteadas.

En los capítulos siguientes se comentará brevemente cada uno de los subsistemas mencionados.

SUBSISTEMA DE PROGRAMACION FINANCIERA

Es obvio que para alcanzar las metas que le fueron fijadas a la Secretaría de Obras Públicas, se hizo necesario que esta dependencia se enfrentase a la tarea de allegarse los fondos necesarios para financiar sus Programas. La finalidad de este subsistema fué definir la inversión anual que se debía realizar durante cada uno de los años que consti

SAPRIN - SOP

PROGRAMACION COMO UN TODO

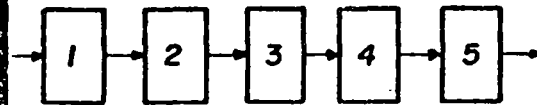
DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA

INSUMO

METAS FIJADAS A LA SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS AL INICIO DE LA PRESENTE ADMINISTRACION EN CUANTO A LOS SIGUIENTES PROGRAMAS:

1. CAMINOS DE MANO DE OBRA
2. CARRETERAS
3. CARRETERAS URBANAS
4. AEROPUERTOS
5. VIAS FERREAS
6. CIUDADES INDUSTRIALES
7. INSTALACIONES DEPORTIVAS
8. EDIFICIOS
9. CENTROS CULTURALES
10. OBRAS EN PARQUES NATURALES
11. OBRAS PARA CABECERAS MUNICIPALES

- SUBSISTEMAS -



1. PROGRAMACION FINANCIERA
2. PROGRAMACION DE INVERSIONES
3. ASIGNACION DE RECURSOS
4. ASIGNACION DE PROYECTOS
5. PROGRAMACION DE OBRAS

PRODUCTO

PROGRAMACION DE LAS ACTIVIDADES DE LA SECRETARIA COMO UN TODO

túan el horizonte de planeación analizado, a fin de alcanzar las metas establecidas, determinándose, así mismo, las cantidades que en cada período deberían ser solicitadas de cada una de las fuentes de financiamiento (tanto nacionales como extranjeras) consideradas, así como las condiciones sobre las que se debería tratar de negociar dichas solicitudes. En la Figura 3 se muestra el diagrama correspondiente a este subsistema.

Para poder resolver el problema descrito y dado el carácter combinatorio del mismo, ya que se manejaron diversas fuentes de financiamiento con muy diferentes condiciones (períodos de pago y tasas de interés), todo ello en el tiempo, se consideró como técnica más adecuada la programación lineal, complementada por un muy amplio análisis de sensibilidad.

Los resultados específicos del modelo determinaron:

- La parte de la inversión total, requerida para cumplir las metas, que debía ejercerse en cada uno de los años.
- La cantidad anual de recursos monetarios que se debía procurar obtenerse de cada fuente de financiamiento, así como las condiciones a lograr.

- La forma de pago que convenía negociar

Dado que la implementación de los resultados del modelo no dependía - en forma exclusiva del organismo que hace el análisis, sino que estaba sujeta a la reacción de Instituciones ajenas al mismo, que podían o no estar de acuerdo con lo que se les solicitará, fué necesario estar pre - parado para conocer hacia donde se debían hacer tender las negociacio - nes, de manera de asegurar siempre los intereses del país. Los comen - tarios anteriores hicieron patente la necesidad de realizar un exhaustivo análisis de sensibilidad para los siguientes factores:

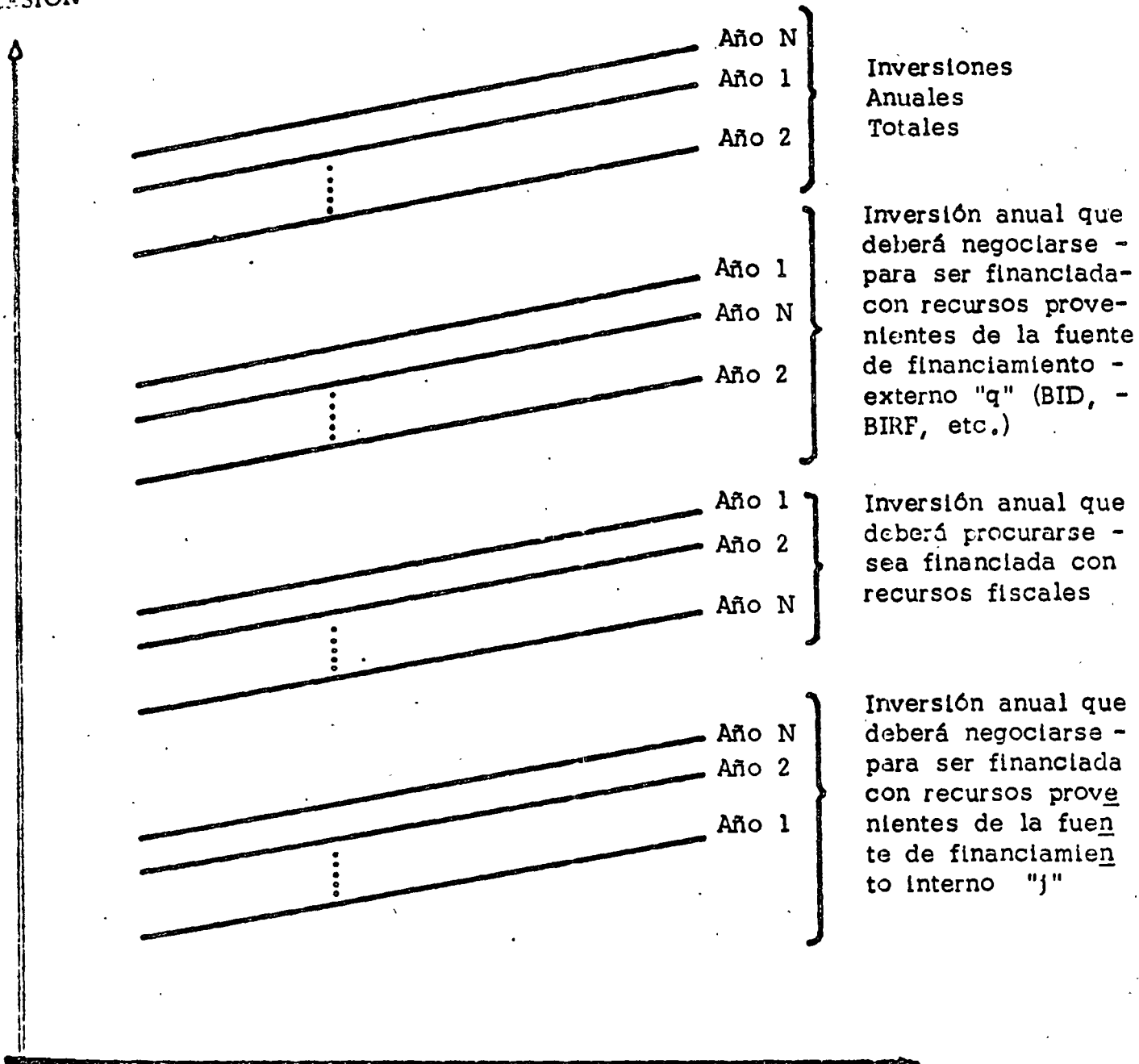
- Inversión total necesaria para cumplir las metas
- Tasa de rendimiento de la inversión
- Limitaciones en cuanto a las formas de pago de los créditos
- Condiciones de los créditos (tasas de interés, períodos de gracia y de pago, etc.)

En las Figuras 4, 5, 6 y 7 se muestra en forma esquemática el tipo - de resultados a que condujo el análisis de sensibilidad sobre cada - uno de los parámetros mencionados en los guiones anteriores. Las tres primeras Figuras se juzga que por sí solas son explicativas; con res - pecto a la Figura 7 cabe mencionar que permite reaccionar de inmedia - to a cambios en cuanto a las condiciones de los créditos, ampliando -

INVERSION TOTAL REQUERIDA PARA CUMPLIR LAS METAS

(Para una tasa de rendimiento "r" determinada)

INVERSION



INVERSION TOTAL REQUERIDA PARA
CUMPLIR LAS METAS

Rango de inversión que se considere
conveniente analizar

FIGURA 4

FORMACION DE "CAPITAL" EN FUNCION DE LA TASA DE RENDIMIENTO

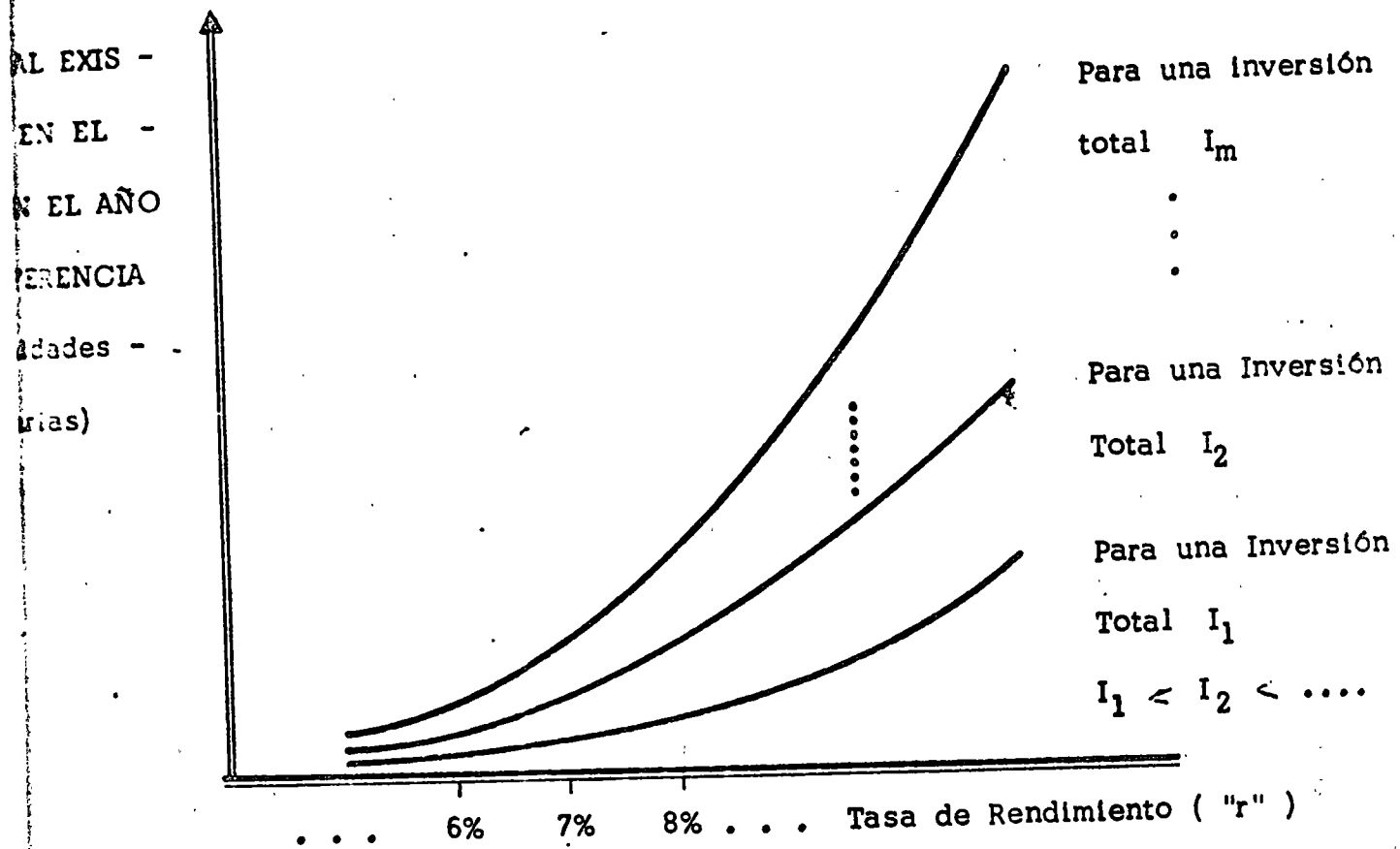


FIGURA 5

EFFECTO COMPARATIVO DE LA FORMA DE PAGO EN LA FORMACION
DE "CAPITAL"

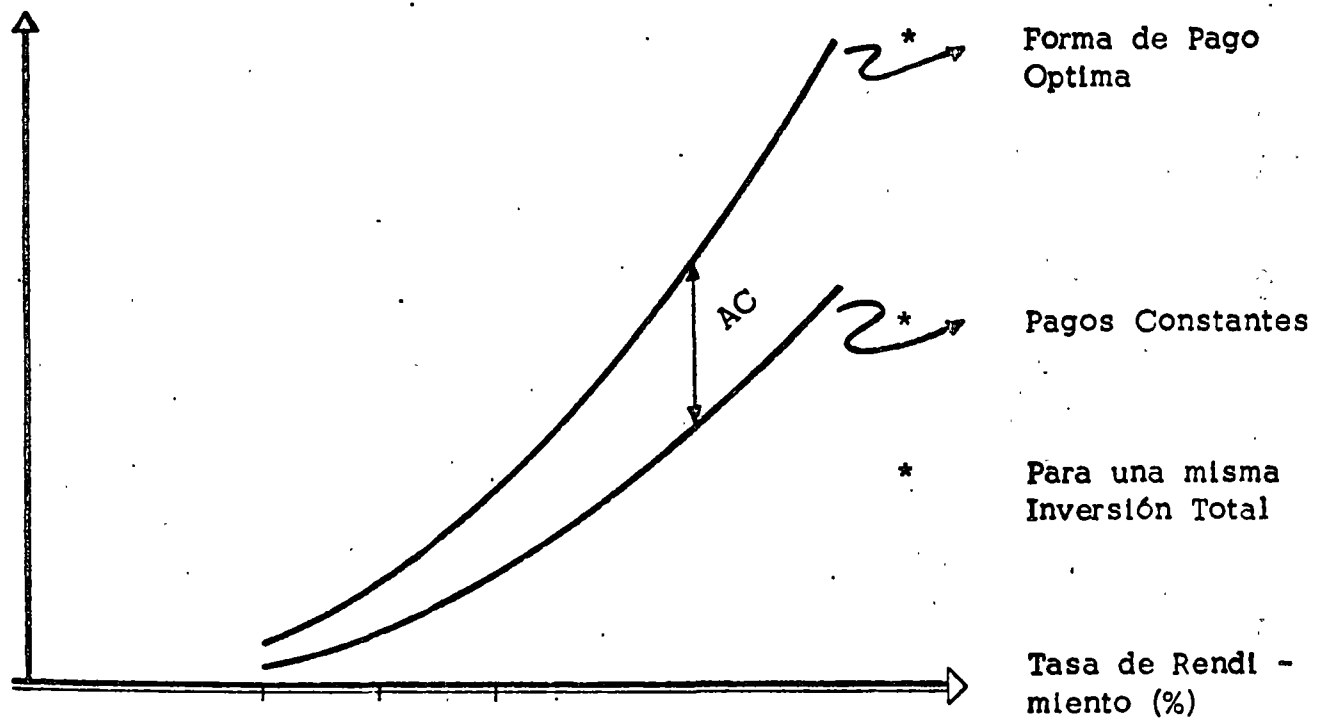
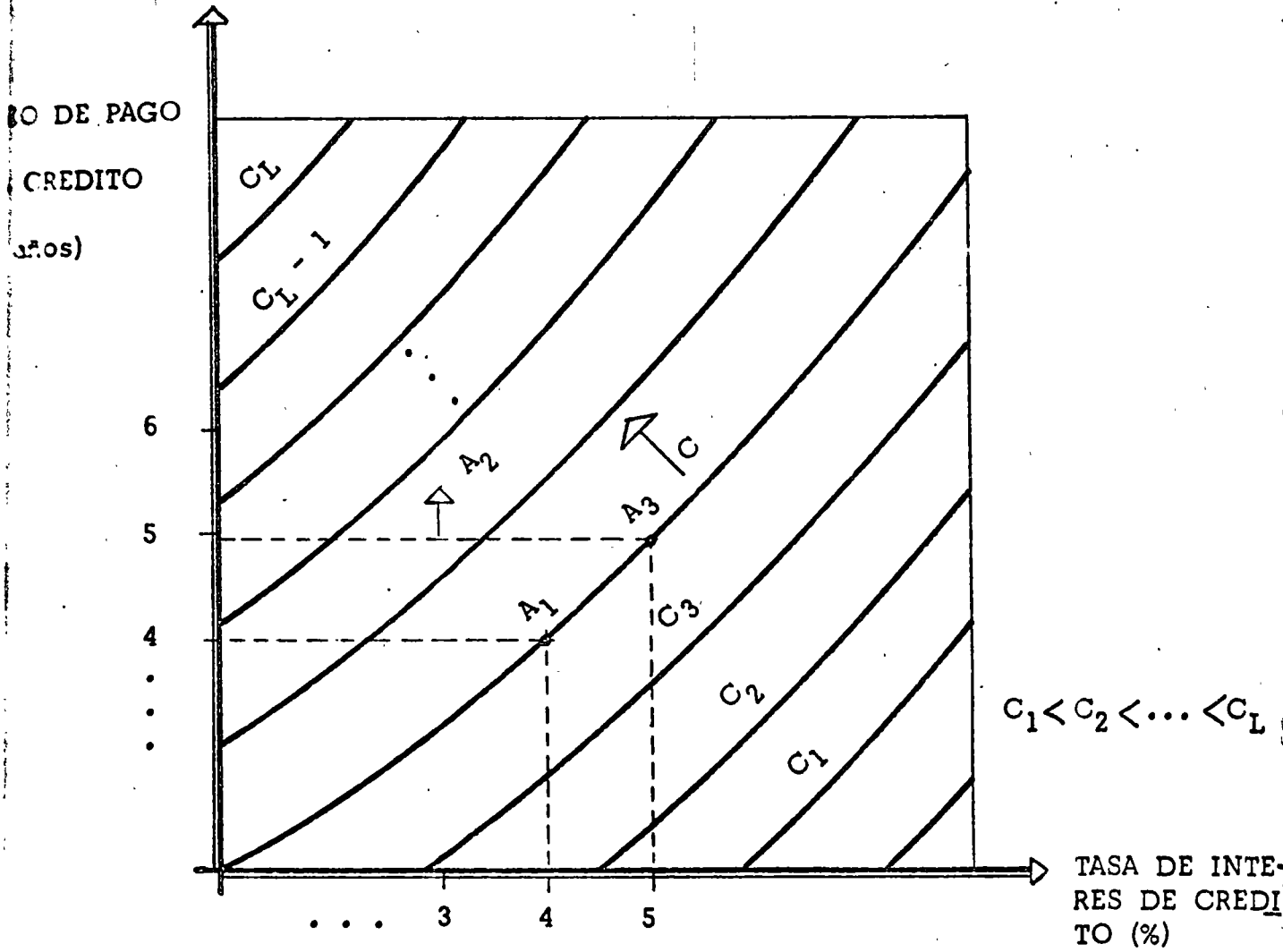


FIGURA 6

"CURVAS DE ISO-FORMACION DE CAPITAL"



$A_1 \approx A_3$

$A_2 > A_1$

FIGURA 7

en forma significativa la capacidad de negociación que se tenga, ya - que se cuenta con un panorama específico sobre si conviene aceptar - una mayor tasa de interés mientras se consiga un plazo mayor de pago etc. Con el fin de facilitar el uso de las curvas que se consignan en la Figura que nos ocupa, cabe citar que sobre una misma curva aparecen todos los planes de financiamiento (definidos por sus dos parámetros: tasa de interés y plazo durante el período de pago) que unitariamente generan el mismo efecto.

SUBSISTEMA DE PROGRAMACION DE INVERSIONES

El subsistema de programación de inversiones, es aquel que define el monto de las inversiones en los programas, de tal forma que se cumplan, de la mejor manera, los objetivos establecidos. El problema planteado se caracterizó por la presencia de las siguientes situaciones:

- Se deseaba satisfacer varios aspectos (objetivos múltiples)
- El grado en que cada alternativa de inversión alcanzaba los objetivos no podía ser especificada en forma precisa; en otras palabras existía, incertidumbre en cuanto a la efectividad que lograría cada alternativa de inversión

- El valor que se asignó a los efectos asociados a una determinada alternativa de inversión variaba con el tiempo, al considerarse el factor oportunidad de los mismos.
- Dado que existían objetivos múltiples, fué necesario enfrentarse a la tarea de decidir a que cantidad de cada objetivo debería renunciarse a fin de alcanzar ciertos límites específicos en los restantes.

Para la solución de un problema como el descrito, fué necesario recurrir al auxilio del "Análisis de Decisiones", técnica específicamente diseñada para este tipo de situaciones, es decir, aquellas a las que le es inherente la incertidumbre, las alternativas son múltiples e inclusive algunas se contraponen y además se manejan aspectos sociales, económicos, políticos y técnicos. El análisis de decisiones auxilia al responsable de su toma por medio de un examen racional y cuantitativo de las alternativas factibles, en función de un estudio de sus implicaciones.

La asignación y programación de inversiones en la Secretaría de Obras Públicas, se realizó en concordancia con los siguientes objetivos:

Integrar la mayor cantidad de territorio

Beneficiar al mayor número de personas

Generar el mayor número de empleos

Incrementar el turismo

Acelerar el desarrollo industrial

Incrementar la tranquilidad social

Promover el desarrollo agrícola

Buscar el mejor impacto institucional

Proporcionar eficientes servicios públicos

Con el fin de medir el impacto de las inversiones en los programas - sobre cada uno de los objetivos, se definieron 9 medidas de efectividad, una por cada uno de éstos; en la Figura 8 se presenta, con base en un diagrama, el funcionamiento de este subsistema, mostrándose en forma conceptual la estructura del problema de decisión.

Los pasos seguidos para la consecución de lo anterior, se pueden resumir en los siguientes:

- INVERSION QUE SE DEBERA REALIZAR CADA AÑO (PROVIENE DEL SUBSISTEMA 1)

- PROGRAMAS A CONSIDERAR
- CAMINOS DE MANO DE OBRA
- CARRETERAS
- CARRETERAS URBANAS
- AEROPUERTOS
- VIAS FERREAS
- CIUDADES INDUSTRIALES
- INSTALACIONES DEPORTIVAS
- EDIFICIOS
- CENTROS CULTURALES
- OBRAS EN PARQUES NATURALES
- OBRAS PARA CABECERAS MUNICIPALES

MODELO 2

OBJETIVO:

DEFINIR QUE INVERSION DEBERA DESTINARSE A CADA PROGRAMA CADA AÑO DE MANERA QUE:

- SE GENEREN EL MAYOR NUMERO DE EMPLEOS.
- SE BENEFICIE AL MAYOR NUMERO DE PERSONAS
- SE INTEGRE LA MAYOR CANTIDAD DE TERRITORIO
- SE DISMINUYA LA INTRANQUILIDAD SOCIAL
- SE INCREMENTEN LOS SERVICIOS PUBLICOS
- SE BUSQUE EL MEJOR IMPACTO INSTITUCIONAL
- SE ALIENTE EL DESARROLLO INDUSTRIAL
- SE INCREMENTE EL DESARROLLO AGRICOLA
- SE PROPICIE EL TURISMO

UTILIDAD

ESPERADA

MAXIMA

CUANTO SE DEBERA INVERTIR EN CADA PROGRAMA DE LOS ANTES CITADOS EN CADA AÑO

1.- Se cuantificó el efecto de diferentes alternativas de inversión, - en términos de los objetivos, por conducto de las medidas de - efectividad consideradas. Para ello, se definieron distribucio - nes de probabilidad dada la incertidumbre que existía al respec - to. En la Figura 9 se muestra esquemáticamente lo anterior.

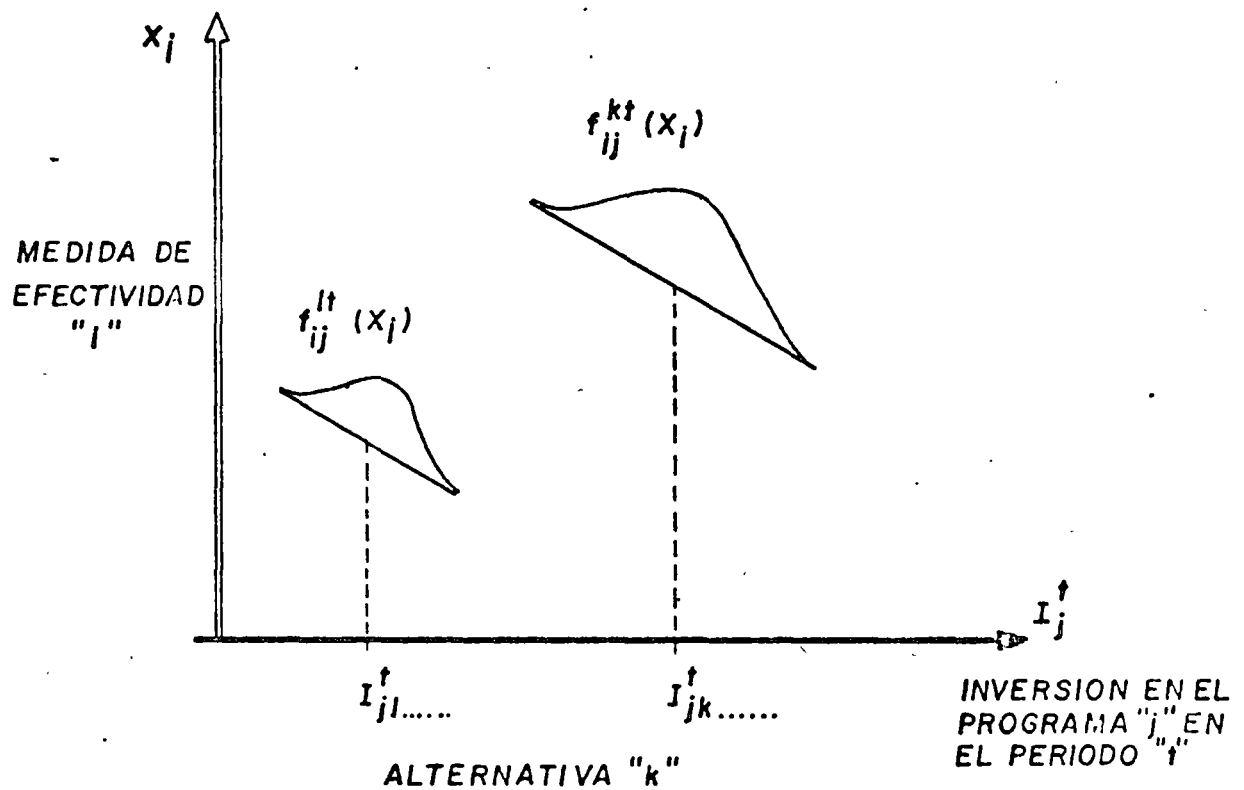


FIGURA 9

Densidades de probabilidad que cuantifican las consecuencias de diferentes alternativas de inversión en cada programa, en cada período, - en términos de las medidas de efectividad consideradas.

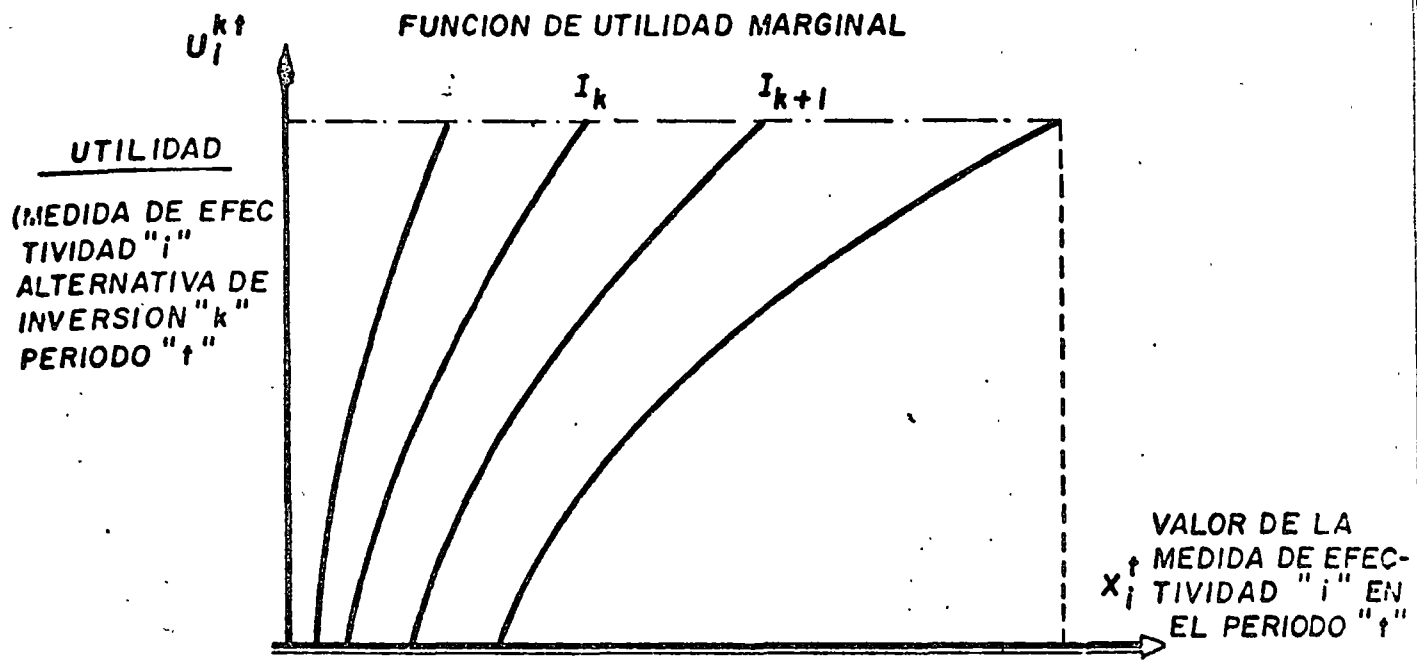
2.- Se procedió a detectar las preferencias que en forma individual y conjunta se tenían sobre los diferentes impactos que era factible obtener en cuanto a las medidas de efectividad consideradas. Para ello, se hizo uso del "Análisis de la Utilidad" - definiéndose funciones de utilidad marginales y multiobjetivas.

En la Figura 10 se muestran en forma esquemática tanto las funciones de utilidad marginal como la función de utilidad multiobjetiva (para el caso de 2 medidas de efectividad).

3.- Una vez determinadas las distribuciones de probabilidad (inciso 1,) sobre las diferentes medidas de efectividad que cuantifica los posibles impactos de cada alternativa de inversión sobre las mismas y definidas las funciones de utilidad marginales y multiobjetiva, que reflejan las preferencias que sobre dichos impactos se tienen, fué posible proceder a la selección de la mejor estrategia de inversión. Para esto fué necesaria la consecución de las tres etapas que a continuación se enuncian:

a) Calcular, para cada alternativa de inversión en cada programa - y para cada período, utilidades conjuntas esperadas.

REFERENCIAS RELATIVAS ENTRE POSIBLES CONSECUENCIAS



FUNCION DE UTILIDAD CONJUNTA O MULTIOBJETIVA

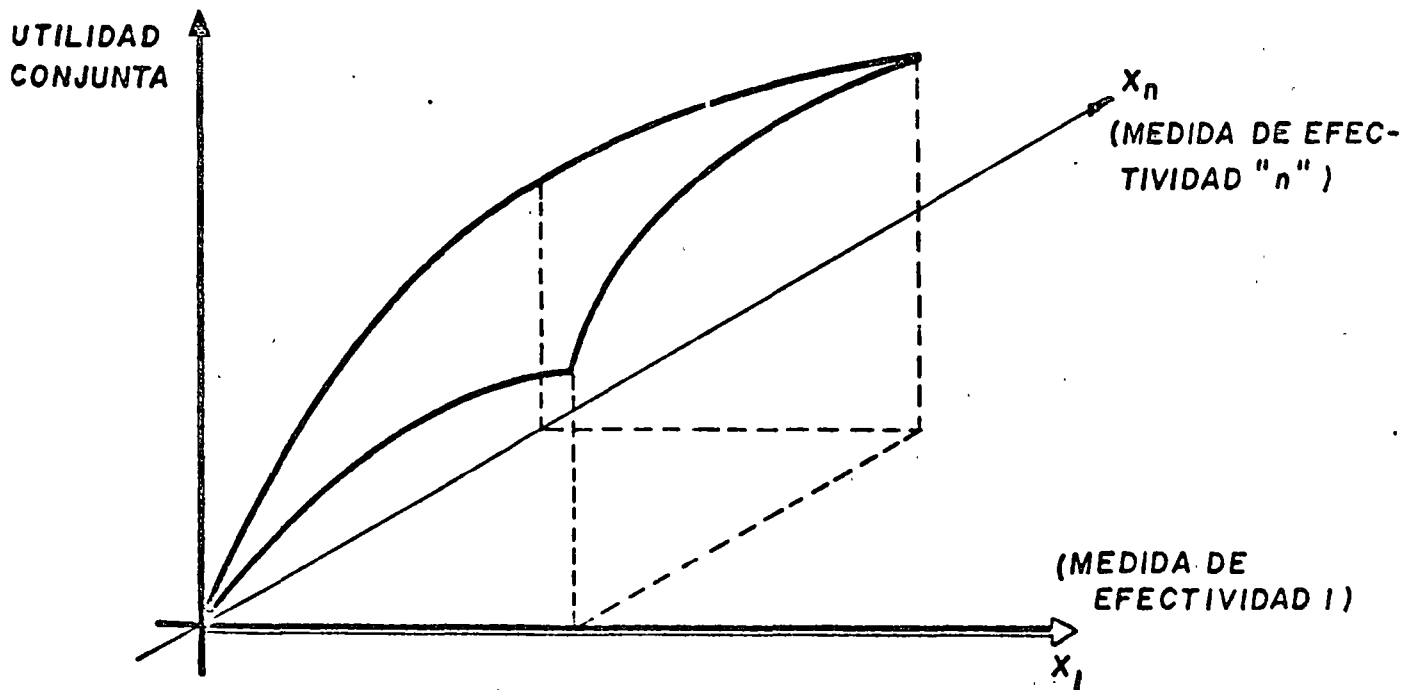


Figura 10

b) Determinar para cada programa y para cada período curvas "Utilidad Esperada-Inversión".

c) Plantear y resolver un modelo de programación matemática que consideraba el aspecto combinatorio del problema.

4.- Como última etapa se llevó a cabo un análisis de sensibilidad, cuyo objetivo fué el de detectar el efecto en los resultados obtenidos de variaciones en los factores que intervinieron. El análisis que nos ocupa permitió identificar los parámetros que mediante cambios podrían afectar la estabilidad de la solución. Así por ejemplo, se manejaron diferentes alternativas en cuanto a inversión global de manera de tener una herramienta que rápidamente permitiese redistribuir la inversión en los programas en caso de ser necesario.

SUBSISTEMA DE ASIGNACION DE RECURSOS

En este subsistema se consideraron los volúmenes de inversión asignados a cada programa, así como las metas que para cada uno de éstos se tenían, definiéndose la estrategia que permitiese alcanzar las metas-haciendo el mejor uso de los recursos disponibles de todo tipo (monetarios, maquinaria, materiales, etc.) considerándose para ello niveles de

eficiencia actual y tomando en cuenta niveles de aspiración factibles.

Específicamente la estrategia seleccionada fué aquella que permitía de la mejor manera cumplir las metas trazadas, es decir, la que lograba minimizar los costos de realización de todos los programas tomando en cuenta en lo que a recursos se refiere los costos de adquisición, utilización, baja y tiempo ocioso de los mismos. En la Figura 11 se muestra por medio de una caja negra la conceptualización de este subsistema, pudiendo notarse en el mencionado esquema que como resultados se obtiene por una parte la cantidad de programa (meta) que se debería cumplir en cada período y por la otra un panorama en cuanto a la utilización de los recursos, señalándose inclusive los que era necesario adquirir en cada período y los que inevitablemente, por algunos lapsos, tenían que permanecer ociosos.

Dada la naturaleza del problema, fué necesario para su solución plantearse con base en un modelo dinámico, utilizándose como herramienta la programación matemática, lo anterior se juzgó conveniente, tomando en cuenta el carácter combinatorio de dicho problema, además de que se tuvo que manejar explícitamente el tiempo y la interrelación que en cuanto a recursos y continuidad en las metas se hacía necesaria, de manera de alcanzar las cifras totales definidas.

INSUMOS
PROVENIENTES DE
OTROS MODELOS:

INSUMOS PROPIOS DEL MODELO

- RECURSOS ACTUALES DISPONIBLES RENOVABLES, PREVIA CLASIFICACION DE LOS MISMOS
- CANTIDAD DE RECURSO NECESARIO PARA TENER UNA UNIDAD DE CADA PROGRAMA POR PERIODO
- COSTOS UNITARIOS DE UTILIZACION DE CADA RECURSO POR UNIDAD DE TIEMPO, POR ADQUISICION, POR OPERACION, POR BAJAS Y POR TENER RECURSOS OCIOSOS

PRODUCTOS

- INVERSION POR PERIODO PARA CADA PROGRAMA
- METAS A CUMPLIR POR PROGRAMA EN LOS CUATRO PERIODOS

OBJETIVO:

MINIMIZAR LOS COSTOS DE REALIZACION DE TODOS LOS PROGRAMAS, TOMANDO EN CUENTA EN LO QUE A RECURSOS SE REFIERE LOS COSTOS DE: ADQUISICION, UTILIZACION, VENTA Y TIEMPO OCIOSO; PARA PODER CUMPLIR LAS METAS TRAZADAS POR LA PRESENTE ADMINISTRACION CON LA MINIMA INVERSION

- CANTIDAD DE RECURSOS QUE SE DEBERAN ADQUIRIR, UTILIZAR, ELIMINAR O TENER OCIOSOS EN LOS DIFERENTES PERIODOS
- CANTIDADES DE PROGRAMA QUE SE DEBERAN CUMPLIR EN CADA PERIODO

FIGURA 11

SUBSISTEMA DE ASIGNACION DE PROYECTOS

El objetivo de este subsistema fué el de ubicar en el tiempo, la realización de las obras que constitufan cada programa como resultado de armonizar la prioridad y urgencia de las mismas con los recursos que se estimaba podrfia disponer la Institución para llevarlas a cabo. Bajo este orden de ideas, este subsistema recibfa como insumos los resultados del subsistema anterior, de manera que respetando la asignación de recursos que se habfa fijado para cada programa y las aspiraciones que en cuanto a las metas para cada período se habfan determinado, permitió situar, en bloque, las obras que constitufan el programa a lo largo del tiempo, señalando además los recursos necesarios de que se podfa disponer para la ejecución de cada obra.

En la Figura 12 se muestra con base en una caja negra el funcionamiento de este subsistema, pudiéndose observar que la ubicación de las obras a lo largo del tiempo se llevó a cabo procurando minimizar el tiempo de ejecución de cada uno de los programas. La técnica utilizada para este caso fué la programación matemática entera, específicamente la binaria.

En la Figura 13 se explica en forma gráfica el resultado de este subsistema.

- RECURSOS NECESARIOS PARA EJECUTAR -
CADA UNA DE LAS OBRAS DE CADA PRO-
GRAMA
- DURACIONES DE CADA UNA DE LAS OBRAS
DE CADA PROGRAMA
- DEPENDENCIAS EJECUTORAS DE LOS PRO-
GRAMAS
- POSIBLE SECUENCIACION OBLIGATORIA
- FECHAS OBLIGATORIAS DE INICIO Y TERMI
NACION DE LOS PROYECTOS SI LAS HAY

INSUMOS PROVENIENTES DE
OTROS MODELOS:

CANTIDADES DE RECURSOS -
DE CADA TIPO "k" DISPONI-
BLES PARA EMPLEARSE EN -
CADA PROGRAMA "i" DURAN
TE CADA PERIODO (AÑO) "t"

MODELO 4

OBJETIVO:

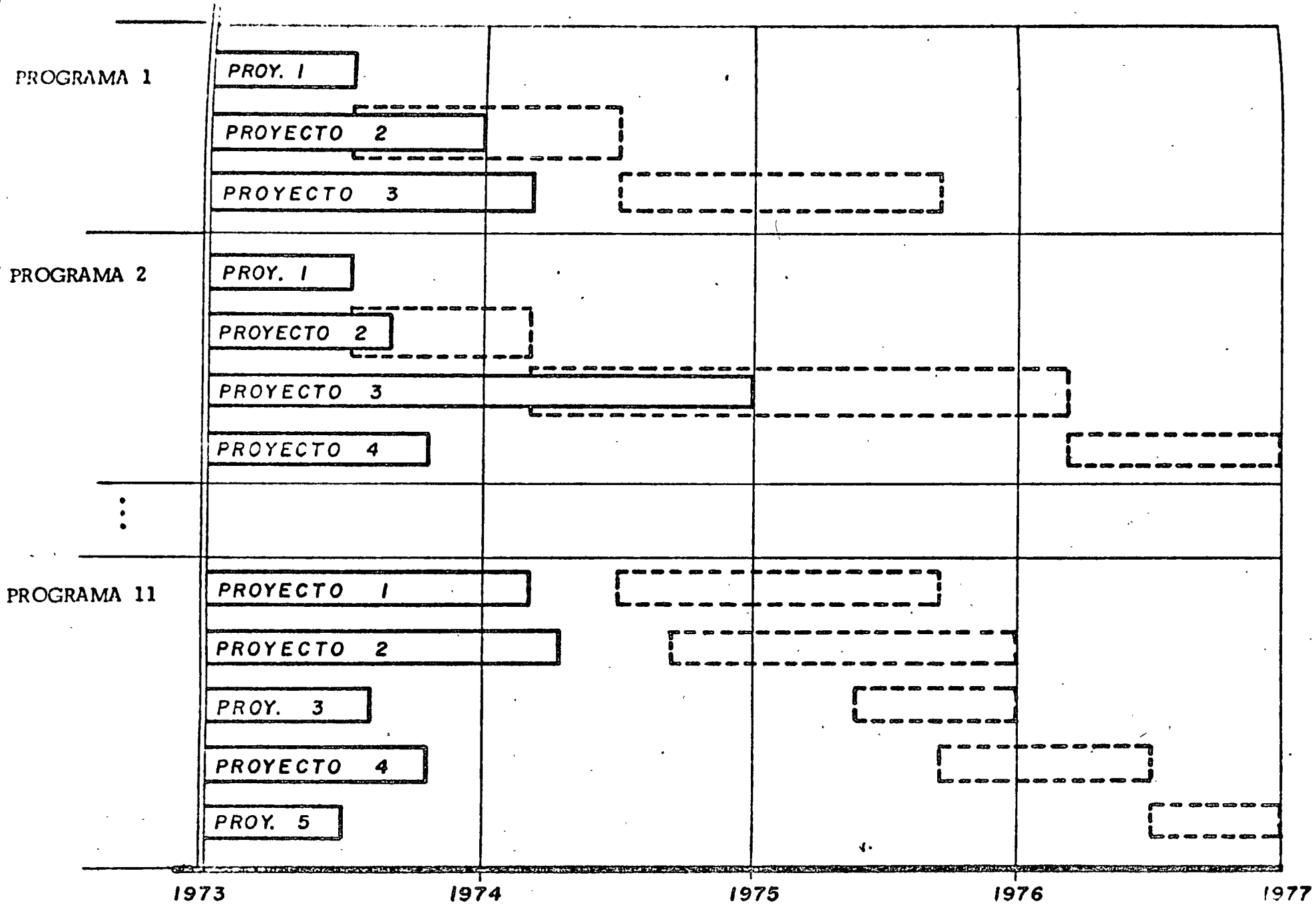
MINIMIZAR EL TIEMPO DE EJECUCION
DE CADA UNO DE LOS PROGRAMAS

PRODUCTOS DEL MODELO 4

- PROGRAMACION DE LAS OBRAS -
(PERIODOS EN QUE DEBEN -
EJECUTARSE) DE CADA UNO DE
LOS PROGRAMAS
- RECURSOS NECESARIOS POR -
PERIODO (MENSUAL) PARA CA
DA OBRA, PARA CADA PROGRA
MA Y PARA CADA DEPENDEN-
CIA

FIGURA 12

1. PLANIFICACION DE PROYECTOS



SUBSISTEMA DE PROGRAMACION DE OBRAS

Este subsistema es el último de los 5 que se han venido comentando, y consecuentemente es el que maneja el mayor grado de detalle. El objetivo del mismo, es el de minimizar la realización de cada una de las obras, respetando, para ello, la asignación de los recursos y la ubicación en el intervalo definido en el subsistema anterior. En la Figura 14 se muestra en forma esquemática el diagrama correspondiente a este subsistema.

Puede observarse que como resultado se obtuvo la programación detallada en forma de una ruta crítica (Figura 15) de las actividades de cada una de las obras a cargo de la SOP, señalándose los recursos con que se contaba para su realización.

Cabe mencionar que para la solución de este problema se utilizó también un modelo de programación matemática de tipo binaria, adecuado cuando el planteamiento realizado por Pritsker, Watters y Wolfe.

Además, dado que a este nivel de detalle la posibilidad de cambios era muy alta, se dotó a los Centros SOP Secretaría de Obras Públicas

de un programa que pudiéndose manejar en las computadoras foráneas permitiese a los propios residentes de obra en forma inmediata reprogramar las obras si fuese necesario.

[Empty box]

INSUMOS PROPIOS DEL MODELO

- DIAGRAMA DE ACTIVIDADES PARA CADA OBRA INCLUYENDO DURACIONES
- RECURSOS NECESARIOS PARA REALIZAR CADA ACTIVIDAD

MODELO 5

OBJETIVO:

MINIMIZAR LA DURACION TOTAL DE EJECUCION DE CADA OBRA, RESPECTANDO LAS RESTRICCIONES DE RECURSOS, SECUENCIA Y FECHAS LIMITE DE TERMINACION DE CADA ACTIVIDAD

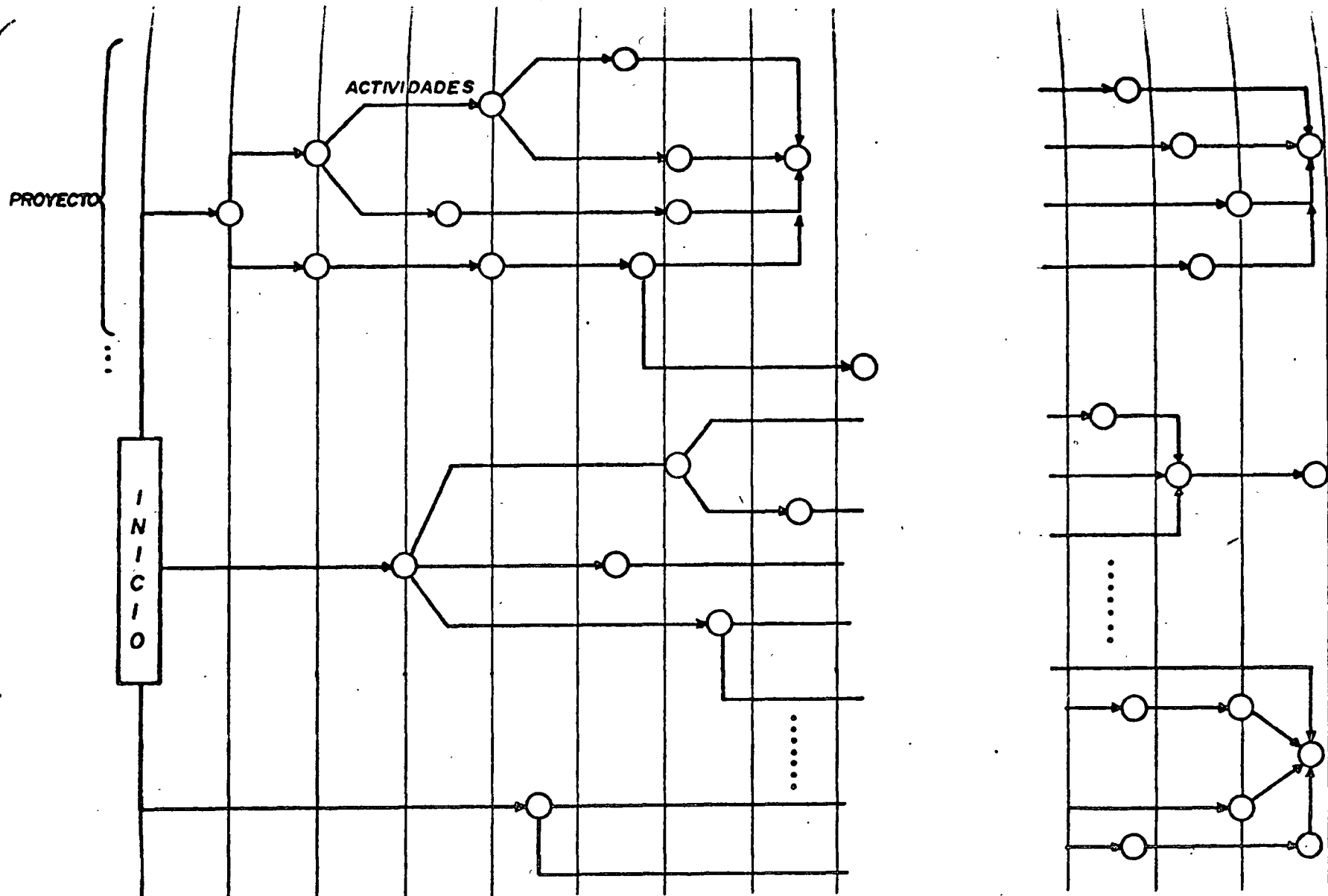
PRODUCTOS

CANTIDAD DE RECURSOS Y TIPOS DE RECURSOS UTILIZADOS SEMANALMENTE; POR ACTIVIDAD, POR OBRA, POR PROGRAMA, POR DIRECCION Y TOTAL DE LA SECRETARIA

INSUMOS PROVENIENTES DE LOS OTROS MODELOS:

- FECHAS DE INICIO Y TERMINACION DE CADA OBRA
- RECURSOS DISPONIBLES PARA CADA OBRA

FIGURA 14



PARA TODOS LOS PERIODOS (Semana, Mes, Etc.)

(LOS REQUERIMIENTOS DE RECURSOS QUE UTILIZAN LAS ACTIVIDADES PARA LLEVAR A CABO LOS -
 PROYECTOS DE CADA PROGRAMA NO DEBERA EXCEDER A LA DISPONIBILIDAD QUE SE TENGA DE -
 DICHS RECURSOS).

UN MODELO DE PROGRAMACION FINANCIERA ORIENTADO
AL SECTOR PUBLICO

1.- INTRODUCCION.

Un país en proceso de desarrollo, requiere, para la aceleración - del mismo, de un adecuado proceso de planeación, que se traduzca, en función de los objetivos que dicho país persiga, en metas específicas a cumplir. El Gobierno, como uno de los elementos - claves en el desarrollo de una nación, es en gran medida responsable de que las metas fijadas se alcancen, ya que tiene, entre otras, obligaciones tan importantes como pudieran ser: el crear - la infraestructura para el transporte por medio de la construcción - de caminos, aeropuertos, vías férreas, etc.; el promover el crecimiento del sector agropecuario construyendo presas y canales, etc.

Para alcanzar las metas que la propia planeación del desarrollo ha señalado como convenientes, es indispensable que el Gobierno lleve a cabo cuantiosas inversiones, teniendo para esto que enfrentarse a la tarea de allegarse los fondos necesarios para hacerlo.- Es claro que para la obtención de dichos fondos se le presentan -

al organismos gubernamental encargado de tal labor, múltiples alternativas, debiendo seleccionar, de entre todas ellas, la que más convenga a los intereses de la nación.

La finalidad del modelo que se describe en forma general en el presente artículo, de acuerdo con lo planteado en los párrafos anteriores, es poder determinar, para una situación dada, la cantidad de recursos monetarios que deberán tratarse de obtener de cada una de las posibles fuentes de financiamiento que se tengan, así como las condiciones a las que se debe procurar llegar en las negociaciones (en el caso de créditos). Como un subproducto del modelo, y considerando para esto las restricciones al respecto, los resultados del mismo señalan el ritmo de inversión más conveniente, es decir, la cantidad que del total que se requiere para cumplir las metas, deberá corresponder a cada uno de los años que configuran el horizonte de planeación que se analice.

El definir que cantidad deberá solicitarse en cada período de cada fuente de financiamiento, bajo que plazo y tasa de interés deberá negociarse, así como la forma de pago, atendiendo a los intereses nacionales, constituye lo que se denominará, en este artículo "Polí-

tica Financiera Optima" misma que determinará, a su vez, el Programa Financiero a seguir. En el diagrama mostrado en la Figura 1 se ilustra en forma objetiva lo antes descrito.

2.- FUENTES DE FINANCIAMIENTO Y SUS CARACTERISTICAS

En lo que se refiere a fuentes de financiamiento posibles, deberán hacerse invertir en el análisis tanto las de índole nacional como internacional existentes. Dentro de las primeras deberán considerarse, por ejemplo, los créditos internos que se pueden negociar con las diferentes Instituciones del País, así como, lo que puede corresponder, según el tipo de inversiones en cuestión, como asignación proveniente de los recursos fiscales que constituyen el presupuesto total del Gobierno.

Como posibles fuentes de financiamiento externo deberán considerarse organismos como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), que son las dos Instituciones Crediticias con que el Gobierno Federal acostumbra realizar este tipo de operaciones.

DIAGRAMA DEL SISTEMA

I N S U M O

- INVERSION TOTAL QUE ES NECESARIO REALIZAR A LO LARGO DEL HORIZONTE DE PLANEACION, PARA LA CONSECUCION DE LAS METAS ESTABLECIDAS
- FUENTES POSIBLES DE FINANCIAMIENTO Y SUS CARACTERISTICAS (RECURSOS FISCALES, BID, BIRF, ETC.)

MODELO MATEMATICO

OBJETIVO:
DEFINIR LA CANTIDAD DE RECURSOS QUE SE DEBERAN OBTENER DE CADA UNA DE LAS POSIBLES FUENTES DE FINANCIAMIENTO DE MANERA QUE LA FORMACION INTERNA (EN EL PAIS) DE "CAPITAL" QUE CON BASE EN LA INVERSION DE DICHS RECURSOS SE LOGRE, SEA MAXIMA.

P R O D U C T O

- INVERSION ANUAL
- CANTIDAD ANUAL DE RECURSOS MONETARIOS QUE SE DEBERA PROCURAR OBTENER DE CADA FUENTE DE FINANCIAMIENTO.
- CONDICIONES SOBRE LAS QUE SE DEBERA PROCURAR NEGOCIAR LOS CREDITOS
- POLITICA OPTIMA DE PAGO DE LOS CREDITOS A SOLICITAR.

FIGURA 1

Para cada una de las fuentes de financiamiento consideradas como posibles y cuyo funcionamiento sea a base de créditos, deberán definirse todos los planes que se consideren factibles de negociar, especificándose, para cada uno de ellos, la tasa de interés y el plazo, tanto durante el período de gracia (en caso de existir) como durante el período de pago.

3.- MODELO MATEMATICO

Como había sido mencionado anteriormente, el objetivo fundamental del análisis es el de definir la inversión anual que deberá ser realizada durante los años que constituyen el horizonte de planeación seleccionado, a fin de poder alcanzar las metas establecidas, determinándose, así mismo, las cantidades que en cada período deberán ser solicitadas de cada una de las fuentes de financiamiento (tanto nacionales como extranjeras) consideradas, así como las condiciones sobre las que se deberán tratar de negociar dichas solicitudes.

En el modelo matemático que se propone, se hace uso de la siguiente nomenclatura:

N = Número de años de que consta el horizonte de Planeación seleccionado

t = El período (año) que se esté considerando ($t \leq N$)

j = Indica un crédito que corresponde a una fuente de financiamiento nacional

q = Indica un crédito que corresponde a una fuente de financiamiento extranjera (BID, BIRF,)

f = Indica un financiamiento con recursos fiscales

r = La tasa de rendimiento de la inversión

a = La tasa de actualización del capital

i_j = La tasa de interés de un crédito interno tipo "j"

i_q = La tasa de interés de un crédito externo tipo "q"

n_j = El plazo de pago (años) para el crédito interno "j"

n_q = El plazo de pago (años) para el crédito externo "q"

p_q = El período de gracia del crédito externo "q"

i_{pq} = La tasa de interés durante el período de gracia del crédito externo "q"

k = Número de años posteriores al período "t"

i_{jt} = Variable que corresponde al monto del crédito que deberá solicitarse con el tipo de financiamiento - interno "j" en el período "t"

I_{qt} = Variable que corresponde al monto del crédito que deberá solicitarse con el tipo de financiamiento externo "q" en el período "t"

I_{ft} = Inversión que deberá tratarse de financiar con recursos fiscales, en el período "t"

$X_{j(t+k)}$ = la cantidad que hay que pagar en el año "t + k" debido al crédito solicitado con el tipo de financiamiento interno "j" en el período "t"

$X_{q(t+k)}$ = La cantidad que hay que pagar en el año "t + k" debido al crédito solicitado con el tipo de financiamiento externo "q" en el período "t"

m = El máximo plazo de pago de todos los tipos de créditos analizados, tanto externos como internos

D_{t+k} = La capacidad de endeudamiento del país para el año "t + k"

P = El presupuesto necesario (en unidades del año cero) para alcanzar las metas fijadas

α_{1t} = La proporción máxima que puede guardar el financiamiento a solicitar mediante crédito interno en el año "t" con respecto al total de recursos financieros a manejar en dicho año (si existe una política al respecto).

α_{2t} = La proporción máxima que puede guardar el financiamiento a solicitar mediante crédito externo en el año "t" con respecto al total de recursos financieros a manejar en dicho año (si existe una política al respecto).

α_{3t} = La proporción máxima que puede aceptarse entre el financiamiento anual a solicitar mediante créditos (tanto internos como externos) con respecto a los recursos fiscales que se manejen en ese año (si existe una política al respecto).

C_t = Límite máximo de crédito que pueden otorgar las fuentes de financiamiento interno en el período "t"

E_t = Límite máximo de crédito que pueden otorgar las fuentes de financiamiento externo en el período "t"

Ahora bien, el modelo de programación matemática que se propone es de tipo lineal y está compuesto primeramente de la función que representa el objetivo que se desea obtener y posteriormente de algunas de las restricciones que se deberán considerar.

En la Función Objetivo se busca maximizar la formación de "capital" en el país propiciada por la re-inversión a través del tiempo de los recursos financieros que se obtengan de las diferentes fuentes de financiamiento en cada uno de los "N" años del horizonte de Planeación analizado, considerando para ello que la tasa de rendimiento de la inversión es "r".

La representación matemática de dicha función objetivo es la que se indica a continuación:

$$\text{Max } Z = \sum_t I_{ft} \cdot (1+r)^{m+N-t} + \sum_q \sum_t I_{qt} \cdot (1+r)^{m+N-t}$$

$$- \sum_q \sum_t \sum_{k=1}^{n_q} X_{q(t+k)} \cdot (1+r)^{m+N-t-k} + \sum_j \sum_t I_{jt} \cdot (1+r)^{m+N-t}$$

$$- \sum_j \sum_t X_{j(m+N-1)} \cdot (1+r) \cdot (B.C) - \sum_j \sum_t X_{j(m+n)}$$

$$+ \sum_j \sum_t \sum_k^{m+N-2-t} X_{j(t+k)} \left\{ (1+r)^{m+N-t-k} + A \right\} \left\{ (1-B.C) (1+r)^{m+N-t-k} \right\}$$

donde:

$$A = \sum_{h=1}^{m+N-1-t-k} \left\{ \sum_{s=0}^{h-1} \frac{(h-1)!}{(h-s-1)! s!} \cdot B^{s+1} \right\} (1+r)^{m+N-t-k-h}$$

$$B = \frac{i_j (1 + i_j)^{n_j}}{(1 + i_j)^{n_j} - 1}$$

$$C = \frac{(1+r)^{n_j} - 1}{r (1+r)^{n_j}}$$

El valor final que se obtenga con la anterior función matemática - representa el "capital" que existirá en el País en el año $(m+N)$, para lo cual fueron transportados a unidades de ese año todas las inversiones, réditos, reinversiones y pagos realizados a través - del tiempo. El año de referencia utilizado fué el año " $m+N$ ". Sin embargo, en caso de que se requiera utilizar otro año cual - quiera como referencia, el resultado obtenido en cuanto a las va- riables manejadas sería exactamente el mismo, a pesar de que ha- bría necesidad de modificar las formulas financieras.

Como puede verse, la función objetivo consta de siete términos, - mismos que serán explicados a continuación:

- a) El primer término cuantifica el "capital" que existirá en el país en el año " $m+N$ " debido a las inversiones que con recursos fiscales se realicen a lo largo de los " N " años que constituyen el horizonte de planeación considerado.
- b) En el segundo término se involucra el "capital" que existirá en el país en el año " $m+N$ " como consecuencia de las inver- siones efectuadas a lo largo del horizonte de Planeación con recursos obtenidos por medio de créditos externos.

- c) En el tercer término se considera el "capital" que sale fuera del país como pago por los créditos internacionales obtenidos, llevado a unidades del año de referencia "m+N" considerando la tasa de rendimiento "r" (costo del dinero).

- d) El cuarto término representa "al capital" que existirá en el país en el año "m+N" como consecuencia de las inversiones realizadas con financiamiento a base de créditos internos.

- e) Los tres últimos términos involucran el efecto multiplicador del capital, originado por el proceso de reinversión de los créditos nacionales, partiendo de la base que al efectuar un pago por concepto de un crédito interno concedido, el monto de dicho pago será reinvertido nuevamente en el país por medio de un nuevo préstamo otorgado bajo las mismas condiciones iniciales.

Existen algunas limitaciones que condicionan los resultados, las cuales se han hecho intervenir en el modelo plasmándolas en las siguientes restricciones:

$$\sum_j X_{jt+k} + \sum_q X_{qt+k} \leq D_{t+k} \quad ; \quad 1 \leq t+k \leq m+N$$

En esta primera restricción se considera una "capacidad anual de endeudamiento", la cual representa la cantidad máxima que puede destinar el País al pago de deudas por concepto de créditos.

$$\sum_{k=1}^{n_j} X_{j,t+k} \cdot (1 + i_j)^{n_j - k} = I_{jt} \cdot (1 + i_j)^{n_j} ; \forall_j \text{ y } 0 \leq t \leq N$$

Como resultado del modelo se obtendrá la mejor forma para el pago de los créditos internos que el mismo modelo determine como necesarios. Para ello se deberán considerar las condiciones a que fué sujeto el crédito, es decir, deberá respetarse el hecho de que la fuente de financiamiento que otorga el crédito pueda tener, al final del período de pago, una cantidad igual al monto del mismo, trabajado, durante ese lapso, a la tasa de interés del crédito en cuestión.

$$\sum_{k=1}^{p_q} X_{q,t+k} \cdot (1 + i_{pq})^{p_q - k} = I_{qt} \left[(1 + i_{pq})^{p_q} - 1 \right] ; \forall_q \text{ y } 0 \leq t \leq N$$

$$\sum_{k=p_q+1}^{p_q+n_q} X_{q,t+k} \cdot (1 + i_q)^{p_q+n_q - k} = I_{qt} \cdot (1 + i_q)^{n_q} ; \forall_q \text{ y } 0 \leq t \leq N$$

Las dos restricciones previas tienen el mismo sentido que su inmediata anterior en lo que se refiere a crédito externo, reflejando la primera, la situación que se tiene durante el período de gracia, - mientras que la segunda, contempla el período de pago propiamente dicho. Cabe hacer mención que esto se hace necesario, en función de que, por regla general, las tasas de interés para ambos períodos son diferentes.

$$\sum_j \sum_{t=0} \frac{I_{jt}}{(1+a)^t} + \sum_q \sum_{t=0} \frac{I_{qt}}{(1+a)^t} + \sum_f \sum_{t=0} \frac{I_{ft}}{(1+a)^t} = P.$$

Los recursos financieros que se obtengan de las diferentes fuentes de financiamiento durante los "N" años que constituyen el horizonte de Planeación, deberán ser igual al presupuesto necesario en - valor presente, para alcanzar las metas fijadas.

$$\sum_j I_{jt} \leq \infty \left\{ \sum_j I_{jt} + \sum_q I_{qt} + \sum_f I_{ft} \right\} ; \forall t$$

En esta restricción se refleja el hecho de que la cantidad de recursos financieros obtenida por medio de créditos internos, no deberá exceder de un determinado porcentaje del total de la inversión que se realice en cada año. Esta restricción existirá siempre y cuando se tenga una política al respecto.

$$\sum_q I_{qt} \leq \alpha_{2t} \left\{ \sum_j I_{jt} + \sum_q I_{qt} + \sum_f I_{ft} \right\}; \forall t$$

Esta restricción es similar a la inmediata anterior en lo que se refiere a los créditos externos.

$$\sum_j I_{jt} + \sum_q I_{qt} \leq \alpha_{3t} \sum_f I_{ft}; \forall t$$

Para el caso en que exista un límite máximo de proporcionalidad entre el monto de los créditos a solicitar y los recursos fiscales a manejar en el año.

$$\sum_j I_{jt} \leq C_t; \forall t$$

$$\sum_q I_{qt} \leq E_t; \forall t$$

Las restricciones anteriores, previenen la posibilidad de que se tenga un límite de crédito por parte de las fuentes de financiamiento con sideradas como factibles. La primera restricción se refiere a fuen tes internas y la segunda a fuentes externas.

Se deberán incluir, además, aquellas otras restricciones que sean ne cesarias en función de la situación del país de que se trate, como podrían ser, por ejemplo: que las Inversiones totales sean crecien - tes de año a año; o bien que solo el financiamiento con base en - recursos fiscales sea creciente de año a año; o bien que ambas si tuaciones se cumplan simultáneamente; etc.

4.- RESULTADOS DEL MODELO

En este capítulo se plantean algunas de las preguntas a las que se puede responder con la aplicación del modelo antes descrito y que pueden resumirse en las siguientes:

- a) ¿Qué parte de la inversión total que se requiere para cumplir las metas que la planeación del desarrollo ha determinado co

mo convenientes, deberá ejercerse en cada uno de los años que constituyen el horizonte bajo estudio?

- b) ¿Qué cantidad anual de recursos monetarios se deberá procurar obtener de cada una de las fuentes de financiamiento (organismos nacionales de crédito, BID, BIRF, etc.)?
- c) ¿Bajo que condiciones se debe procurar obtener los créditos, atendiendo a la Institución a que se presenta la solicitud (período de gracia, período de pago, tasa de interés, etc.)?
- d) ¿Que forma de pago se debe tratar de negociar, de acuerdo con los intereses del país?.
- e) ¿Cuál sería el efecto en cuanto a formación interna de "capital" en el País, en caso de que los resultados en las negociaciones condujeran a la aceptación, por parte de los organismos involucrados, de las recomendaciones sugeridas?.

5.- ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Dado que la implementación de los resultados del modelo no dependen

den exclusivamente del organismo que haga el análisis, sino que está sujeta a la reacción de Instituciones ajenas al mismo, que pueden o no estar de acuerdo con lo que se les propone, es necesario estar preparado para conocer hacia donde se deben hacer tender las negociaciones, de manera de asegurar siempre los intereses del país. Por otra parte, los parámetros manejados en el modelo (metas establecidas, Inversión requerida para cumplirlas, tasa de rendimiento, etc.) también están sujetos a cambios, que pueden ser originados por variaciones en las políticas y/o en las condiciones existentes.

Los comentarios anteriores, hacen patente la necesidad de realizar un exhaustivo Análisis de Sensibilidad para los siguientes factores:

- Inversión total necesaria para cumplir las metas
- Tasa de rendimiento de la Inversión
- Limitaciones en cuanto a las formas de pago de los créditos
- Condiciones de los créditos (Tasas de Interés, períodos de gracia y de pago, etc.).

De acuerdo con lo expuesto, el primer paso que se recomienda -

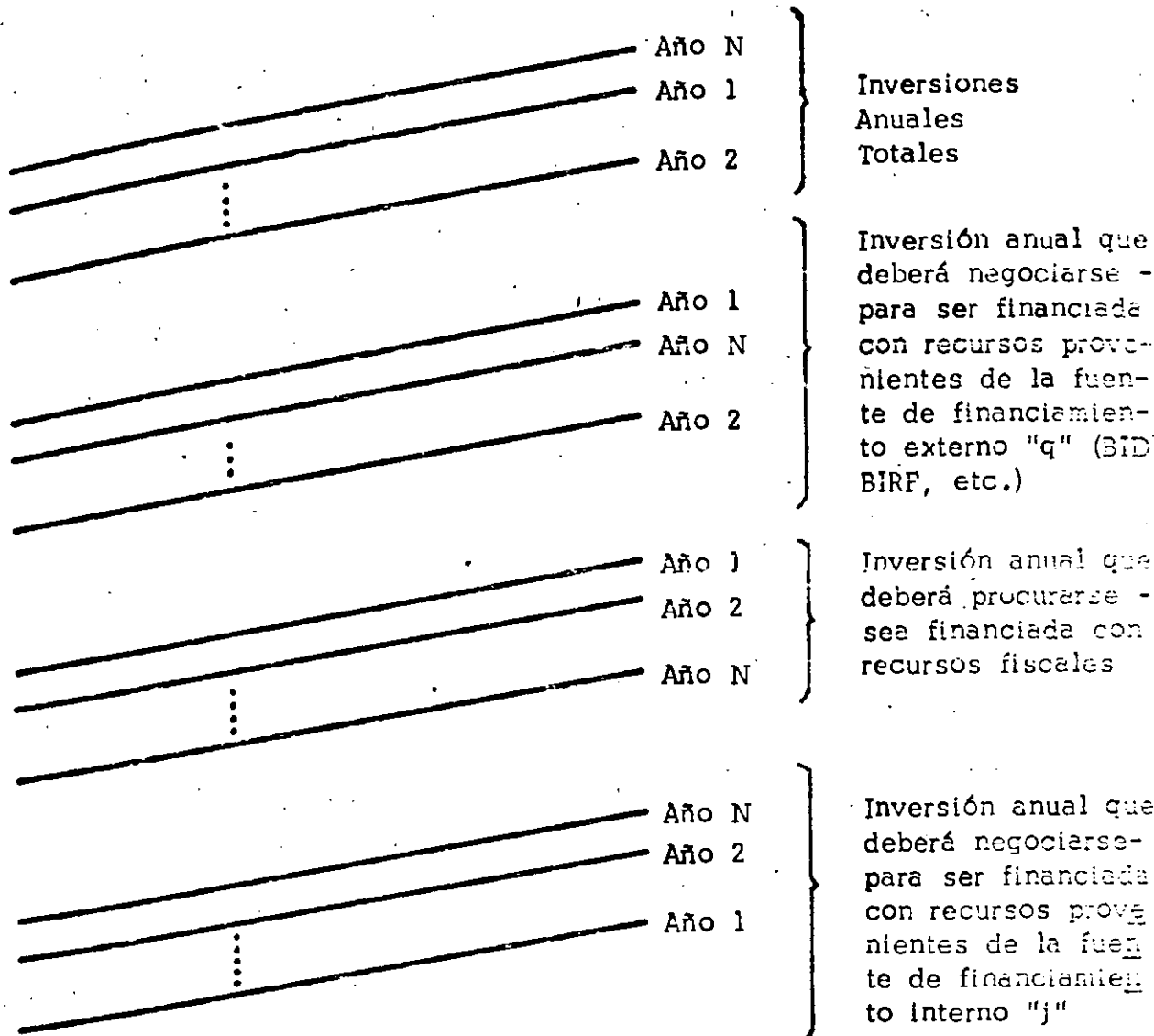
llevar a cabo es un Análisis de Sensibilidad sobre el Modelo de Programación Lineal planteado, de conformidad con las técnicas tradicionales existentes para tal efecto (Ref. 2). Los resultados de este primer Análisis, proporcionarían un primer rango de acción al organismo encargado de las negociaciones, al permitirle conocer, por ejemplo, condiciones de créditos alternas ante una misma Institución o entre varias Instituciones, que conduzcan a la obtención de lo que podría ser una solución "significativamente igual" a la originalmente planteada.

Sin embargo, las condiciones prevaletientes pueden variar de tal forma, que se salgan de los límites a que se refiere el párrafo anterior, haciéndose indispensable una mayor cantidad de información, si se quiere que se tengan los elementos suficientes para que las negociaciones se dirijan a la mejor solución para la nueva situación en vigor. Esto conduce a la necesidad de un nuevo Análisis de Sensibilidad, que contemple, en primer término, cada uno de los factores antes mencionados en forma individual, para posteriormente, hacerlos variar en forma combinada. Un Análisis como el citado permitirá obtener resultados y hacer comentarios como los que a continuación se señalan:

- 5.1.- Si lo que se varía es la Inversión total que se requiere - para cumplir las metas fijadas, previendo un posible cambio en las mismas, y se mantiene el resto de los elementos en sus valores originales, con los resultados obtenidos podría elaborarse una gráfica como la que con carácter ilustrativo se muestra en la Figura 2, misma que permitiría conocer de inmediato la acción a seguir al presentarse una variación en ese sentido.
- 5.2.- Si además de variar, la Inversión total, a que se refiere el inciso anterior, se analizan diferentes valores para la tasa de rendimiento, para cada una de éstas últimas se lograría definir una gráfica como la mostrada en la Figura 2 a que se hizo referencia anteriormente, ampliándose así el radio de acción para las negociaciones.
- 5.3.- El variar la tasa de rendimiento de la Inversión, repercute considerablemente en el valor de la función objetivo, pudiéndose reflejar dicha repercusión por medio de curvas como las mostradas esquemáticamente en la Figura 3. Es-

COMPOSICION ANUAL POR FUENTE DE FINANCIAMIENTO DE LA
 INVERSION TOTAL REQUERIDA PARA CUMPLIR
 LAS METAS

(Para una tasa de rendimiento "r" determinada)



INVERSION TOTAL REQUERIDA PARA CUMPLIR LAS METAS

— Rango de Inversión que se considere conveniente analizar —

FORMACION DE "CAPITAL" EN FUNCION DE LA TASA DE RENDIMIENTO

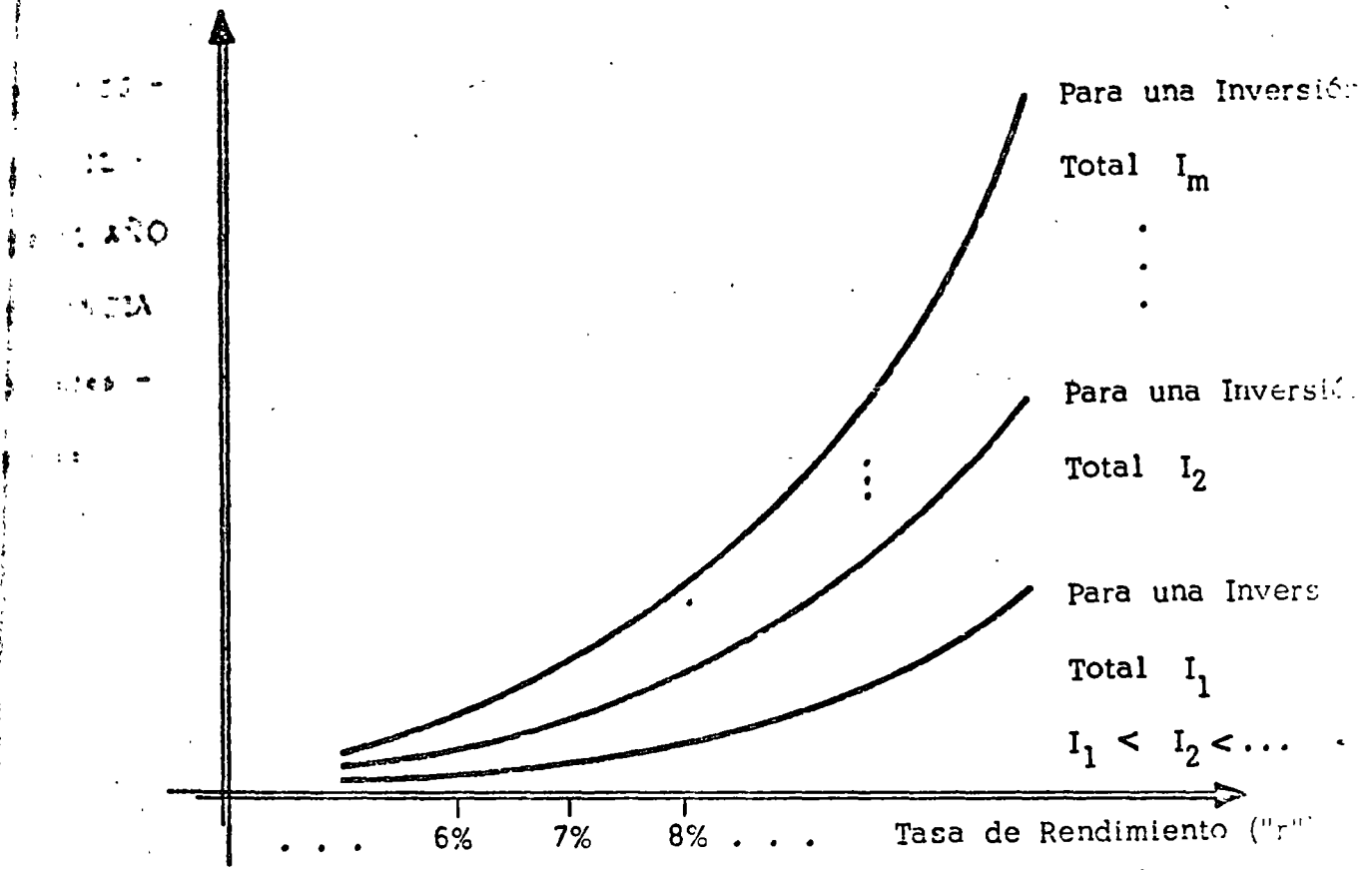


FIGURA 3

claro que si la tasa de rendimiento es menor que la tasa de interés de los créditos se produce un proceso de "descapitalización", de tal manera que con el transcurso del tiempo, el "capital" existente en el país sería menor que el invertido.

5.4.- La forma de pago de los créditos también incide directamente sobre el proceso de formación de "capital", con base en las inversiones que se realicen. Así por ejemplo, si la "política de pago óptima", que el modelo determina, pudiese ser implementada y se comparase su efecto en cuanto a formación de capital se refiere, con respecto a la política tradicional de pagos constantes en el tiempo, y se variase la tasa de rendimiento o la inversión total, el resultado sería como el mostrado con fines ilustrativos en las figuras 4 y 5 respectivamente. La simple variación en la política de pago, partiendo de la base de que no se lesionan los intereses del que otorga el crédito tal y como se trató de establecer en el modelo, incrementa la formación de "capital" debido al factor "oportunidad". Este incremento (ΔC) puede

EFFECTO COMPARATIVO DE LA FORMA DE PAGO EN LA FORMACION DE "CAPITAL"

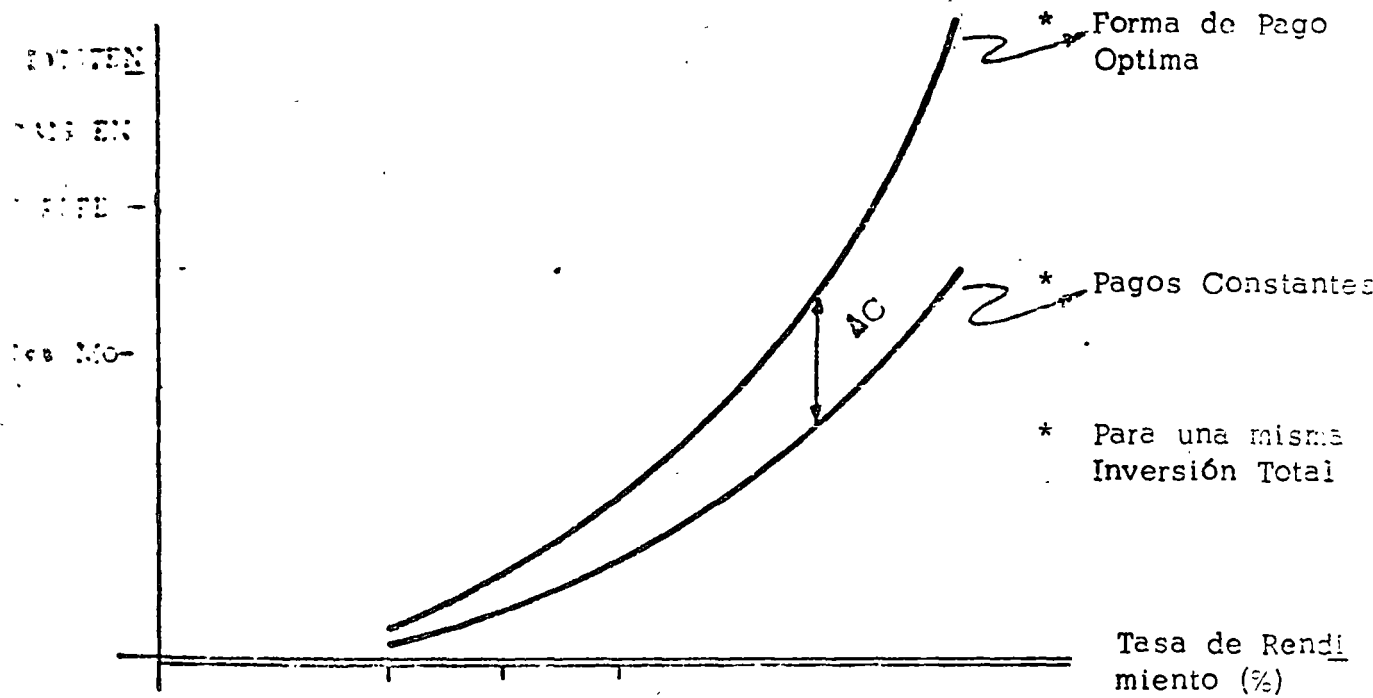


FIGURA 4

EFFECTO COMPARATIVO DE LA FORMA DE PAGO
EN LA FORMACION DE "CAPITAL"

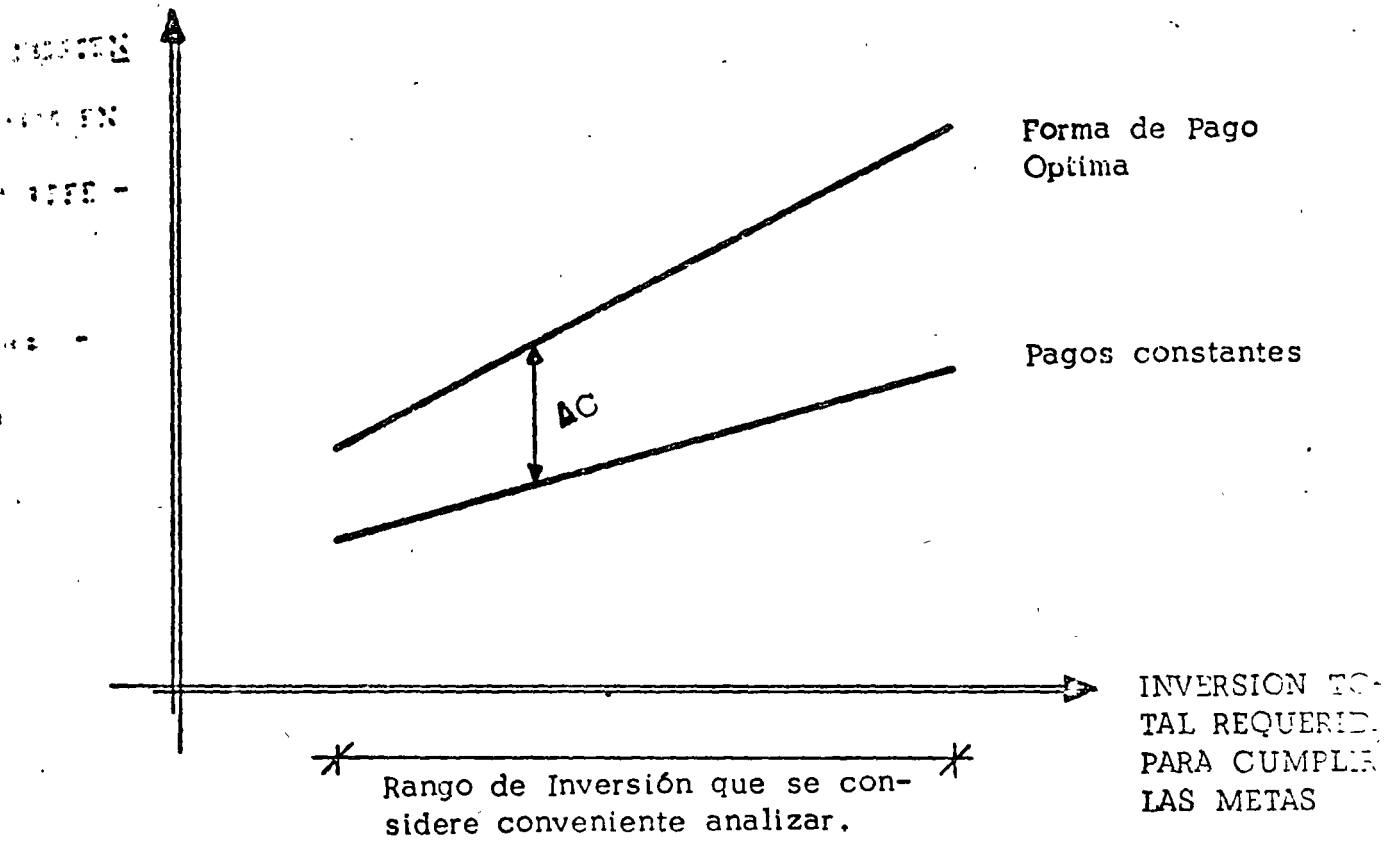


FIGURA 5

ser evaluado y servir como argumento al funcionario responsable de llevar a cabo las negociaciones.

5.5.- Las características principales que definen las condiciones de un crédito, son el plazo de pago y la tasa de interés. Dado que no se sabe la reacción de las fuentes de financiamiento, en cuanto a las condiciones que se les soliciten, se debe estar preparado para "negociar", en caso de que no se acepten las iniciales. Para esto, es conveniente, como parte del Análisis de Sensibilidad, definir curvas de "Iso-formación de Capital", definiendo, para ello, una gran cantidad de posibles combinaciones en cuanto a la tasa de interés y al período de pago se refiere. Para los créditos externos, esto último deberá llevarse a cabo para diferentes condiciones, en lo que al período de gracia corresponde.

Para todas y cada una de las combinaciones que se generen, se deberá estimar el efecto que en cuanto a formación de "capital" se logra al invertir una unidad monetaria obtenida por ese medio. Con los valores obtenidos se podrán elabo-

rar una serie de curvas como las que en forma esquemática se muestra en la Figura 6. Sobre una misma curva, aparecen todos los planes de financiamiento (definidos por sus dos parámetros: tasa de interés y plazo durante el período de pago) que unitariamente generan el mismo efecto (formación de "capital").

Como puede observarse en la Figura 6, algunas veces conviene al País negociar un crédito con mayor tasa de interés mientras se consiga un plazo mayor de pago. Con los elementos que proporciona la gráfica de referencia, el responsable de las negociaciones podrá, en forma inmediata, conocer lo que más le conviene en función de la forma como se desarrollen dichas negociaciones, pudiéndose llegar, inclusive, a situaciones que simultáneamente convengan al País solicitante y a la fuente de financiamiento a que se recurre, lo cual no podría ser detectado si no se tuviesen disponibles este tipo de elementos técnicos previamente estudiados.

5.6.- En los incisos anteriores se comentaron algunos aspectos -

"CURVAS DE ISO-FORMACION DE CAPITAL"

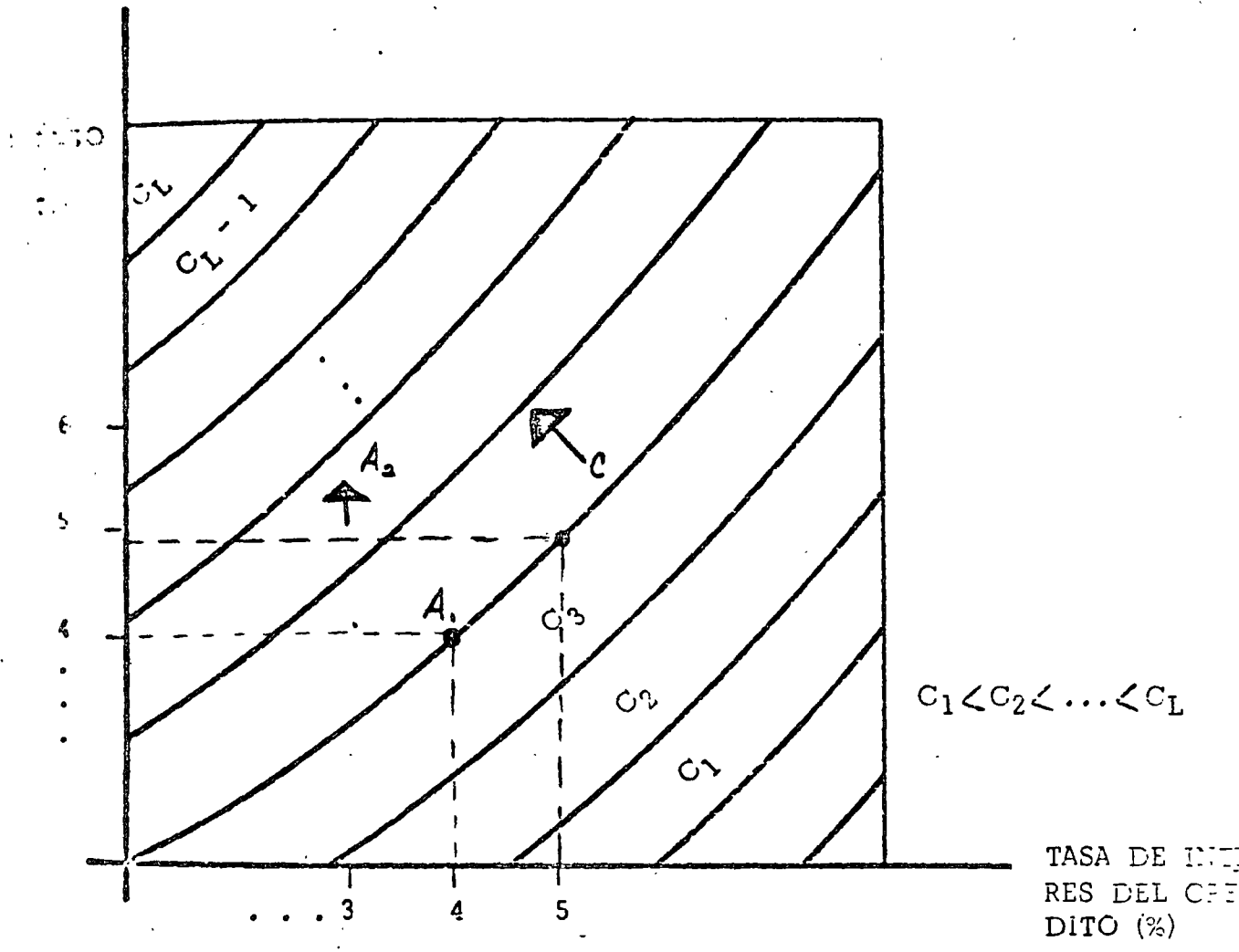


FIGURA 6

$A_2 > A_1$

que deberían ser cubiertos dentro del Análisis de Sensibilidad. Sin embargo cabe mencionar que también deberían ser incluidos algunos otros, que aunque no se comentarán en detalle en este artículo, también son importantes para aumentar los elementos de juicio y por lo tanto la capacidad de negociación. Entre estos últimos se podrían mencionar, por ejemplo: el punto de referencia (año) que se utilizó para el cálculo del "Capital" que existirá en el país con motivo de las inversiones realizadas; los límites máximos de financiamiento de cada fuente; etc.

6.- OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- 6.1.- La trascendencia de las operaciones crediticias, puesto que comprometen los recursos futuros de la nación al adquirirse deudas por cantidades importantes, hacen necesario que, en forma previa a la formalización de tales compromisos, se lleven a cabo estudios técnicos cuyos resultados proporcionen, a las personas encargadas de este tipo de operaciones, elementos de juicio suficientes para que las-

negociaciones que se realicen por su conducto sean las -
más adecuadas, atendiendo a los intereses del País.

6.2.- En la negociación de préstamos las condiciones finales, -
sobre las que se obtengan los mismos, dependerán en gran
medida de las Instituciones Crediticias a que se recurra. -
Lo anterior implica que se debe estar preparado para defi -
nir, en forma inmediata, la orientación que se debe dar a las
negociaciones, en función de la actitud o posición que las
fuentes de financiamiento adopten.

6.3.- Como se pudo observar a lo largo de la exposición de este
artículo, pueden existir condiciones que simultáneamente -
sean más benéficas para ambas partes, ya que sus objetivos
por lo general no son coincidentes. Este tipo de situacio-
nes las debe de poder visualizar el responsable de la nego-
ciación por parte del gobierno de que se trate, dada, como
se mencionó al principio de este capítulo, la trascendencia
de los compromisos que se adquieren.

6.4.- Cabe citar, que muchas veces a pesar de que existen ciertos créditos externos "blandos" en mejores condiciones que la mayoría de los créditos internos que se pudiesen conseguir, le resulta más conveniente al País realizar la inversión financiada con créditos internos que con los externos aparentemente mejores. Lo anterior es debido a que el proceso multiplicativo en la formación de "capital" es más acelerado con los créditos internos, puesto que los pagos se reinvierten en el país, mientras que en los créditos externos, el dinero al pagarse lo abandona.

6.5.- Por regla general en los países en proceso de desarrollo, por su misma situación, las tasas de rendimiento de las inversiones (si estas se seleccionan adecuadamente) son elevadas. Lo anterior conduce a que la política de pago más conveniente, en lo que se refiere a los créditos externos, sea retardar los mismos, aún a costa de un relativo incremento en la tasa de interés de dichos créditos. Por otra parte, en lo que a créditos internos corresponde, la política de pago es precisamente la inversa. Con lo anterior, se busca una mayor estada y circulación del capital en el país, más sin perder de-

vista el peligro de la inflación y de exceder los límites de endeudamiento externo convenientes.

6.6.- A pesar de que la metodología propuesta se sale de los métodos tradicionales que se utilizan dentro del Sector Público, y de que aparentemente su implementación resulta compleja, dada la trascendencia del problema que se ataca, en función de las múltiples razones expuestas, el intento aquí realizado ampliamente se justifica.

7.- REFERENCIAS

- 1.- Jauffred M.F.J., Programación de la Secretaría de Obras Públicas como un Todo. Boletín No. 20 (Nov.-Dic. 1973). IMPOS. México.

2.- Jaufred M. F.J., Moreno Bonett A., Acosta F. J. J. , Mé-
todos de Optimización - Programación Lineal - Gráficas -
(capítulo 5. Análisis Posóptimos). Representaciones y Ser-
vicios de Ingeniería, S.A. México (1971).

* Humberto Valdés Ruy Sánchez

** Nicolás Zarzar Charur

* Jefe del Departamento de Modelos de Decisión de la Direc-
ción General de Ingeniería de Sistemas de la Secretaría de -
Obras Públicas de México; Profesor de Ingeniería de Siste-
mas y Probabilidad y Estadística en la Facultad de Ingeniería
de la U.N.A.M.

** Maestro en Ciencias, especialidad en Investigación de Opera-
ciones; Representante de la Dirección General de Ingeniería-
de Sistemas en el Centro SOP. Secretaría de Obras Públicas-
en el Estado de Nuevo León, México.

DIRECTORIO DE ASISTENTES DEL CURSO ANALISIS DE INVERSIONES (DEL 4 DE ABRIL AL 11 DE MAYO DE 1978)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. JORGE ALFARO SANCHEZ Casas Grandes No. 120-401 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel: 5-38-89-72	MOTORES Y REFACCIONES, S.A. Norte 35 No. 895 Col. Vallejo México, D. F. Tel: 5-67-47-00
2. SERGIO AVALOS ARZATE Norte 79 "A" No. 125-2 Col. Clavería México 16, D. F. Tel: 5-29-42-90	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 35-10 México 1, D. F. Tel: 5-35-82-24
3. HUMBERTO BASTIDA TAMAYO Arenal No. 40 Col. Chimalistac México, D. F. Tel: 5-50-80-33	TELEINFORMATICA DE MEXICO, S.A. Arenal No. 40 Col. Chimalistac México, D. F. Tel: 5-50-80-33
4. OSCAR DANIEL CACHO ORTIZ División del Norte Andador No. 6 Casa No. 21 Villa Coapa México 22, D. F. Tel: 5-94-76-57	DIRECCION DE INVERSIONES PUBLICAS S.P.P. Arcos de Belen No. 79-60. Piso México 1, D. F. Tel: 5-95-49-33
5. MARCO ANTONIO CAMARILLO NOEMI 16 de septiembre No. 25 Col. M. Avila Camacho México 10, D. F. Tel: 5-89-87-12	DIRECCION GENERAL DE INVERSIONES PUBLICAS, S.P.P. Arcos de Belen No. 79-60. Piso México 1, D. F. Tel: 5-85-49-33
6. LIC. GABRIEL COLIN BECERRIL Hda. Molino de las Flores No. 49 Bosques de Chegaray Naucalpan, Edo. de México Tel: 5-60-51-63	MADERERIA LEGARIA Lago Atitlán No. 119 Col. Argentina México, D. F. Tel: 5-27-81-06

DIRECTORIO DE ASISTENTES DEL CURSO ANALISIS DE INVERSIONES (DEL
4 DE ABRIL AL 11 DE MAYO DE 1978)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
7. ING. HUMBERTO DELGADO VITIENES Gutiérrez Zamora No. 86 Las Aguilas México 20, D. F. Tel: 5-93-06-71	INGENIERIA CIENTIFICA, S.A. Gutiérrez Zamora No. 86 Las Aguilas México 20, D. F. Tel: 5-93-06-71
8. MIGUEL ANGEL DEL RIO PACHECO Galicia No. 445 Col. Postal México 13, D. F. Tel: 5-79-61-58	SUBDIRECCION DE DESARROLLO RURAL Fray Servando y Teresa de Mier No. 77-12 Col. Obrera México 1, D. F.
9. ING. JORGE DE OVANDO O. Copernico No. 172 Col. Anzúres México 5, D. F. Tel: 5-45-85-19	SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO Arcos de Belen No. 79-60. Piso México 1, D. F. Tel: 5-85-49-33
10. FELIX GARCIA HERNANDEZ Paseo de la Reforma No. 133-6o. Piso México 1, D. F. Tel: 5-66-86-89	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 69-4o. Piso México 1, D. F.
11. ING. ANGEL GARCIA TELLO Av. 539 No. 204 Unidad Aragón México 14, D. F.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 35 México, D. F. Tel: 5-35-82-24
12. ING. JOSE GARCIA VALDEZ Lago de las Truchas No. 20 Fuentes de Satélite Satélite Edo. de México Tel: 5-72-44-39	MOTORES Y REFACCIONES, S.A. Norte 35 No. 895 Col. Industrial Vallejo México 16, D. F. Tel: 5-67-47-00 Ext. 222
13. ING. ROBERTO HEATLEY CORTES Augusto Rodin 358-307 Col. Nochebuena México 19, D. F. Tel: 5-98-16-35	SOCIEDAD DE EXALUMNOS DE LA FACULTAD DE INGENIERIA Tacuba No. 5-1er. Piso México 1, D. F. Tel: 5-12-33-53

DIRECTORIO DE ASISTENTES DEL CURSO ANALISIS DE INVERSIONES (DEL
4 DE ABRIL AL 11 DE MAYO DE 1978)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
14. BLANCA ESTELA HERNANDEZ DE VEGA Odesa 825 Col. Portales México 13, D. F. Tel: 5-32-67-56	ESCUELA SUPERIOR DE TURISMO ACAPULCO, GRO.
15. ING. DULCE MARIA JACOME SALAMANCA Insurgentes Centro No. 23-506 Col. San Rafael México 4, D. F. Tel: 5-46-87-74	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECUR- SOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 51-17o. Piso México 1, D. F. Tel: 5-66-97-69
16. ING. RAUL ANTONIO LANDA ORTEGA Av. Pacífico No. 203 Depto. 301-B Coyoacán México 21, D. F. Tel: 5-59-57-55	SERVICIOS EJIDALES, S. A. DE C.V. Av. Cuauhtémoc No. 1190 Col. Narvarte México 13, D. F. Tel: 5-75-50-33 Ext. 118
17. ING. ALFONSO LEON CURIEL Viaducto Tlalpan 4749-7 Club de Golf México 22, D. F. Tel: 5-73-59-15	INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGA- CIONES TECNOLOGICAS Calzada Legaria No. 694 Col. Irrigación México 10, D. F. Tel: 5-57-10-11
18. ING. CARLOS HUMBERTO MARTINEZ MURILLO Granjas Chihuahua, Chih. Tel: 3-30-91	FERROCARRIL CHIHUAHUA AL PACIFI- CO Carlos Fuero y 36 (Domicilio Conocido) Pacifico Chihuahua, Chih. Tel: 2-17-69
19. ARQ. ALCIBIADES MARVAN CARMONA Antonio Sola No. 72 Col. Condesa México 11, D. F. Tel: 5-53-30-72	CONSTRUCTORA INDEX, S. A. Fuego No. 719 Pedregal San Angel México 20, D. F. Tel: 5-68-62-33
20. RENATO MAYORAL SIBAJA La Morena No. 766-7 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel: 5-43-44-21	SQUARE DE MEXICO, S. A. Calz. Javier Rojo Gómez No. 270 Del Moral Iztap. México, D. F. Tel: 5-82-70-88

DIRECTORIO DE ASISTENTES DEL CURSO ANALISIS DE INVERSIONES (DEL
4 DE ABRIL AL 11 DE MAYO DE 1978)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
21. LIC. ALBERTO A. MENDOZA ORTEGA Colorines No. 24 Casa 24 Col. Candelaria México 21, D. F. Tel: 5-44-07-51	SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO Palacio Nacional México 1, D. F. Tel: 5-22-48-48
22. ING. MARIO MONTAÑANA SURIO Sastrería No. 313 Col. Michoacana México 2, D. F. Tel: 5-26-20-53	FORD MOTOR COMPANY Carretera a Querétaro Km. 36.5
23. ING. JESUS MONTAÑO BUSTAMANTE Axayacatl Lote No. 26 Manzana 15 Col. Ruiz Cortines México 22, D. F. Tel: 5-35-25-25	SARH-DIRECCION GENERAL DE CON- Paseo de la Reforma No. 69-4o.P. México 1, D. F. Tel: 5-35-25-25
24. ING. RAFAEL MORALES Y MONROY	FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM Ciudad Universitaria México 20, D. F.
25. FRANCISCO PAZ OLGUIN Edificio 1-15 U.H. La P. Vallejo México 14, D. F.	I.N.C.A. Fray Servando y Bolívar México, D. F.
26. EDUARDO SEGURA GUTIERREZ Colorado 71 Col. Nápoles México 18, D. F. Tel: 5-23-59-38	SECRETARIA DE PATRIMONIO Y FOMENTO IND. Insurgentes Sur 552-10o. Piso Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-64-97-36
27. RAFAEL TEBAR FLORES Calle "E" Manzana X Col. Educación México 21, D. F. Tel: 5-14-44-83	MORESA Norte No. 35 No. 895 Col. Industrial Vallejo México 16, D. F. Tel: 5-67-47-00 Ext. 222

DIRECTORIO DE ASISTENTES DEL CURSO ANALISIS DE INVERSIONES (DEL
4 DE ABRIL AL 11 DE MAYO DE 1978)

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

28. ING. FERNANDO VELAZQUEZ P.
Compte 6-401
Col. Anzúrez
México 5, D. F.
Tel: 5-33-26-09

HOWMEDICA MEXICANA, S.A. DE C.V.
Jaime Nunó No. 11 Pte. de Vigas
Tlanepantla, Edo. de México
Tel: 3-97-21-11

29. ING. LUIS VILLASEÑOR ARENA
Chihuahua 43-5
Col. Roma
México 7, D. F.
Tel: 5-84-74-19

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y
PRESUPUESTO
Arcos de Belem 79-60. Piso
Col. Obrera
México 1, D. F.
Tel: 5-85-49-33

30. ING. MIRCIA KUNHARDT JAVIER
Torquemada No. 42
Col. Obrera
México 8, D. F.
Tel: 5-30-92-53

UNIVERSIDAD CATOLICA MADRE Y
Autopista Duarte Km. 1
Santiago, República Dominicana