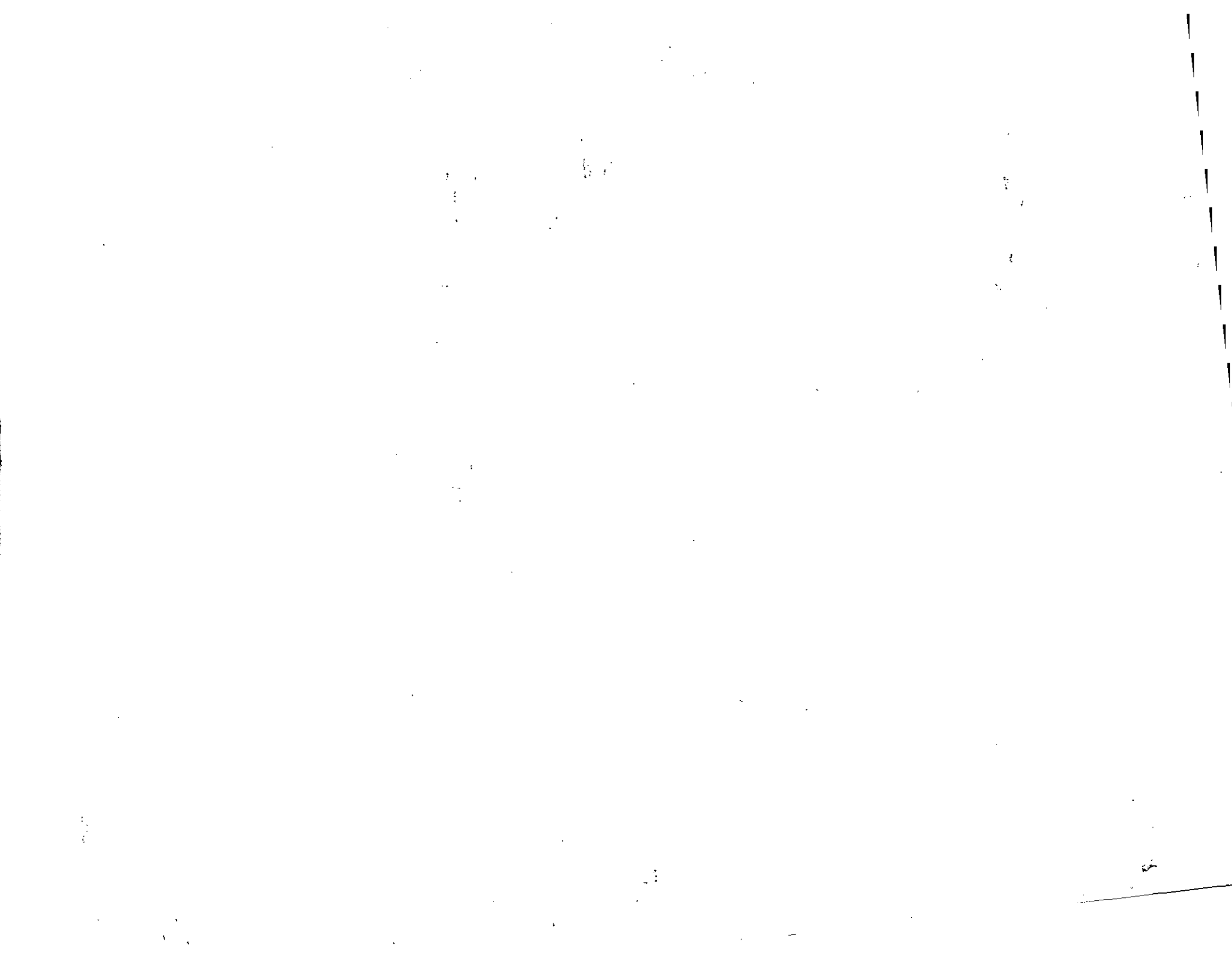


DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES
DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS 1984

1. DR. JOSE MIGUEL COBIAN SELA
PROFESOR DEL AREA DE SISTEMAS
DEPFI
UNAM
MEXICO, D.F.
550 52 15 EXT. 4477
2. M. EN I. JORGE SILVA MIDENCES
COORDINADOR DE LA SECCION DE INVESTIGACION DE OPERACIONES
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
UNAM
550 52 15 EXT. 4477
3. DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES (COORDINADOR)
SUBJEFE DEL AREA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
D E P F I
UNAM
MEXICO, D.F.
550 52 15 EXT. 4462
4. M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON
COORDINADOR DE LA MAESTRIA DE PLANEACION
D E P F I
UNAM
MEXICO, D.F.
550 52 15 EXT. 4462
5. DR. OVSEI GELMAN MURAVCHIK
INVESTIGADOR TITULAR
INST. DE ING. Y PROFESOR DE LA
SUB. DE ING. DE SIST.
INSTITUTO DE INGENIERIA
UNAM
MEXICO, D.F.
550 52 15 EXT. 3652
6. M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ
PROFESOR
SUBJEFATURA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
D E P F I
U N A M
MEXICO, D.F.
550 52 15 EXT. 4482 Y 4486
7. DR. JORGE DIAZ PADILLA GUERRERO
DIRECTOR GENERAL
CIA. FELIPE OCHOA ASOCIADOS
RICARDO CASTRO NO. 5408* PISO
MEXICO 20, D.F.
550 96 88 EXT. 623



DR. ALEJANDRO MENDOZA FERNANDEZ
PROFESOR
DEPFI
UNAM
MEXICO, D.F.
550 52 15 EXT. 4491

9. DR. PAUL CARVAJAL MORENO
INVESTIGADOR
INST. DE INVESTIGACIONES EN MATEMATICAS
APLICADAS Y EN SISTEMAS
UNAM
MEXICO, D.F.
550 52 15 EXT. 4514
10. DR. FELIPE OCHOA ROSSO
PRESIDENTE
FELIPE OCHOA Y ASOCIADOS, S.C.
RICARDO CASTRO NO. 54
MEXICO 20, D.F.
550 96 88
11. M. EN I. ALBERTO MORENO BONETT
DIRECTOR GENERAL
MORENO BONETT Y ASOCIADOS
AV. REVOLUCION NO. 341
MEXICO, D.F.
515 90 30
12. M. EN I. FRANCISCO JAVIER JAUFRED MERCADO
DIRECTOR GENERAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS
S. C. T.
AV. MICHOACAN ESQ. AV. DE LAS TORRES
MEXICO, D.F.
691 71 85
13. DR. SERGIO FUENTES MAYA
COORDINADOR DE LA SECCION DE MATEMATICAS
D E P F I
UNAM
MEXICO, D.F.
550 52 15 EXT. 4492

PROGRAMA DEL CURSO: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS
 QUE SE IMPARTIRA: DEL 19 AL 30 DE NOVIEMBRE DE 1984

FECHA	HORARIO	T E M A	PROFESOR
Lu 19 Nov.	17 a 18	Introducción a la Ing. de Sistemas	Dr. José Jesús Acosta Flores
	18 a 21	Método de los Sistemas	Dr. Felipe Ochoa Rosso
Mi 21 Nov	17 a 21	Enfoque Sistémico e Investigación Interdisciplinaria de Desastres	Dr. Ovsei Gelman Muravchik
Ju 22 Nov	17 a 21	Análisis de Decisiones con Objetivos Múltiples	Dr. José Jesús Acosta Flores
Vi 23 Nov	17 a 21	Diagnóstico de Sistemas	Dr. José Jesús Acosta Flores
Sa 24 Nov	9 a 11	Diseño de Sistemas	M. en I. Arturo Fuentes Zenón
	11 a 13	Técnicas de Optimización	M. en I. Rubén Téllez Sánchez
Lu 26 Nov	17 a 19	Simulación Digital	M. en I. Jorge Silva Midences
	19 a 21	La Optimización de Inventarios en Sistemas de Producción	Dr. Miguel Cobián Sela
Ma 27 Nov	17 a 19	Análisis de Sistemas Discretos	M. en I. Francisco J. Jauffred
	19 a 21	Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas a Problemas de Transporte	M. en I. Alberto Moreno B.
Mi 28 Nov	17 a 19	Evaluación de Sistemas	Dr. Alejandro Mendoza F.
	19 a 21	Aplicación de Programación Dinámica	Dr. Sergio Fuentes Maya
Ju 29 Nov	17 a 21	Surgimiento de Nuevas Estructuras: Redes Sistémicas	Dr. Raúl Carvajal Moreno
Vi 30 Nov	17 a 19	Evaluación de Sistemas Agropecuarios bajo condiciones de incertidumbre	Dr. Jorge Díaz Padilla Guerrero
	19 a 21	Implantación y Control	Dr. José Jesús Acosta Flores

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

E

CURSO: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

FECHA: Del 19 al 30 de noviembre, 1984

		DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD
	CONFERENCISTA				
1.	DR. JOSE JESUS ACOSTA FLORES				
2.	DR. FELIPE OCHOA ROSSO				
3.	DR. OVSEI GELMAN MURAVCHIK				
4.	M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON				
5.	M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ				
6.	M. EN I. JORGE SILVA MIDENCES				
7.	DR. MIGUEL COBIAN SELA				
8.	M. EN I. FRANCISCO J. JAUERRED				
9.	M. EN I. ALBERTO MORENO R.				
	Edcs.				
	ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10				

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

(1)

CURSO:

FECHA:

		DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIO VISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD
CONFERENCISTA					
1.	DR. ALEJANDRO MEJDOZA F.				
2.	DR. SERGIO FUENTE MAYA				
3.	DR. RAUL CARVAJAL MORENO				
4.	DR. JORGE DIAZ PADILLA GUERRERO				
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10					

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

②

SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

TEMA	ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA	
INTRODUCCION A LA ING. DE SISTEMAS					
METODO DE LOS SISTEMAS					
ENFOQUE SISTEMICO E INVESTIGACION...					
ANA. DE DECISIONES CON OBJETIVOS ...					
DIAGNOSTICO DE SISTEMAS ...					
TECNICAS DE OPTIMIZACION					
SIMULACION DIGITAL					
LA OPTIMIZACION DE INVENTARIOS EN ...					
ANA. DE SISTEMAS DISCRETOS					
APLICACIONES DE LA ING. DE SIST. A.					

ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

5

(2)

SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

TEMA	ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA
EVALUACION DE SISTEMAS				
APLICACION DE PROGRAMACION DINAMICA				
SURGIMIENTO DE NVAS. ESTRUCTURAS.				
REDES SISTEMICAS				
EVA. DE SIST. DE AGROPECUARIOS BAJO				
IMPLANTACION Y CONTROL.				

edcs.

ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10

EVALUACION DEL CURSO

③

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.	CUMPLIMIENTO 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 en la División de Educación Continua?

MUY AGRADABLE	AGRADABLE	DESAGRADABLE

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

PERIODICO EXCELSIOR ANUNCIO TITULADO DI VISION DE EDUCACION CONTINUA	PERIODICO NOVEDADES ANUNCIO TITULADO DI VISION DE EDUCACION CONTINUA	FOLLETO DEL CURSO

CARTEL MENSUAL	RADIO UNIVERSIDAD	COMUNICACION CARTA, TELEFONO, VERBAL, ETC.

REVISTAS TECNICAS	FOLLETO ANUAL	CARTELERA UNAM "LOS UNIVERSITARIOS HOY"	GACETA UNAM

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

AUTOMOVIL 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 cursos le gustaría que ofreciera la División de Educación Continua?

7. La coordinación académica fue:

EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA

8. Si está interesado en tomar algún curso intensivo ¿Cuál es el horario más conveniente para usted?

LUNES A VIERNES DE 9 A 13 H. Y DE 14 A 18 H. (CON COMIDAS)	LUNES A VIERNES DE 17 A 21 H.	LUNES, MIERCOLES Y VIERNES DE 18 A 21 H.	MARTES Y JUEVES DE 18 A 21 H.

VIERNES DE 17 A 21 H. SABADOS DE 9 A 14 H.	VIERNES DE 17 A 21 H. SABADOS DE 9 A 13 Y DE 14 a 18 H.	O T R O

9. ¿Qué servicios adicionales desearía que tuviese la División de Educación Continua, para los asistentes?

10. Otras sugerencias:



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

APLICACION DE LA CIENCIA DE LOS SISTEMAS
A LA ESTRUCTURACION DE PROBLEMAS DE PLANEACION

DR. FELIPE OCHOA ROSSO

NOVIEMBRE, 1984

APLICACION DE LA CIENCIA DE LOS SISTEMAS A LA ESTRUCTURACION
DE PROBLEMAS DE PLANEACION

Felipe Ochoa¹

El objeto de este ensayo es buscar la estructura fundamental del proceso de planeación del desarrollo, a cualquier nivel de agregación, identificando los principios básicos del proceso, con el apoyo que ofrece la ciencia de los sistemas.

Al razonar sobre la necesidad de encauzar el desarrollo mediante la planeación y de mostrar la complejidad del proceso de desarrollo mismo, debido fundamentalmente al alto grado de interrelación de sus componentes y a los diversos niveles de agregación de la planeación, se concluye sobre la conveniencia de planear mediante el enfoque de sistemas y la utilización del método científico como herramienta de realización de planes.

Después de establecer brevemente los fundamentos de la Ciencia de los Sistemas y su procedimiento metodológico, se propone un esquema de estructura conceptual para la solución de problemas de planeación, basado en la búsqueda de conceptos básicos, mediante un proceso inductivo, y se señalan igualmente algunos lineamientos para el proceso efectivo de planeación en México.

¹ Coordinador de la Especialidad de Ingeniería de Sistemas, Academia de Ingeniería.

DESARROLLO Y SU PLANEACION

1.1 NATURALEZA DEL DESARROLLO

El nivel de bienestar de los hombres que conforman a un país es dinámico, partiendo de un estado inicial que cambia, para bien o para mal, en los diversos intervalos del horizonte de tiempo.

Este nivel de bienestar es la resultante del grado con el que el individuo logra satisfacer sus necesidades físico-biológicas, intelectuales y recreacionales, mediante la adquisición y uso de satisfactores diversos como son la vivienda, la alimentación, los servicios básicos y de esparcimiento, adquiridos con el ingreso derivado de su empleo y del nivel de ahorro derivado de excedentes de períodos anteriores.

Definiremos como *estado de desarrollo de un individuo* a su nivel de bienestar o calidad de vida en un tiempo dado t , el cual estará representado por un *perfil de desarrollo* como el mostrado en la Fig. 1. Este perfil representa gráficamente a un conjunto de indicadores que cuantifican a las principales componentes descriptivas del nivel de bienestar, como pueden ser su ingreso, nivel de ahorro, educación y grado de motivación social, entre otros.

De manera extensiva, el *estado de desarrollo de un país* lo entenderemos como el nivel de bienestar de la totalidad de sus habitantes en el mismo tiempo t . Para efectos de integrar la variabilidad de estos niveles de bienestar, se adoptará como indicador del estado de desarrollo de un país al perfil de desarrollo de la Fig. 2. En este caso, cada indicador particular quedará representado por un *valor medio* y una *medida de la dispersión*, que con respecto al anterior, presenta la población dada.

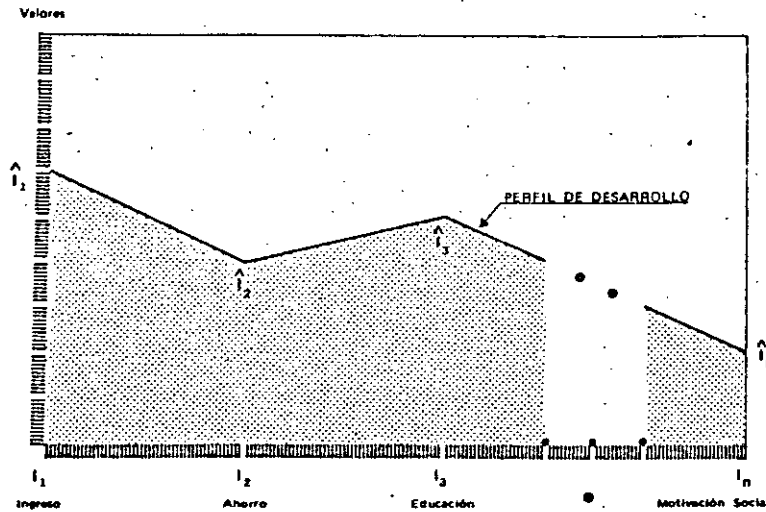


FIG. 1 PERFILES DE DESARROLLO INDIVIDUAL EN EL TIEMPO t .

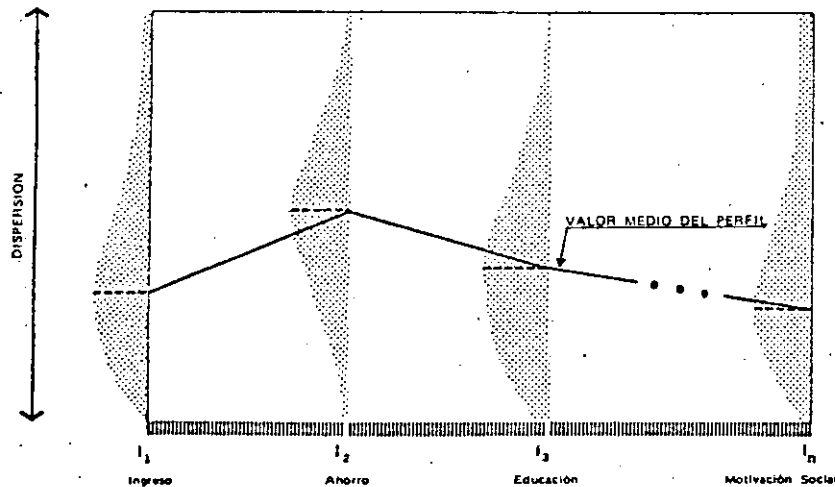


FIG. 2 PERFIL DE DESARROLLO DEL PAIS EN EL TIEMPO t .

2

Continuando con las definiciones, entenderemos como *potencial de desarrollo individual*, a la capacidad de cada persona de mejorar su nivel de bienestar y el de los demás, durante el siguiente intervalo de tiempo y por tanto, de cambiar su perfil de desarrollo en $t+1$, con respecto al registrado en t .

Análogamente, el *potencial de desarrollo del país*, será el agregado del potencial individual, medido por la capacidad de incrementar en términos absolutos la media del perfil del país, así como de disminuir la dispersión porcentual con respecto a él.

El establecer la distinción anterior entre "estado de desarrollo" y "potencial de desarrollo" nos permite eslabonar por etapas al proceso. De esta forma el estado de desarrollo en t , más el desarrollo mismo logrado en el intervalo $[t, t+1]$, (función éste del potencial de desarrollo en t), nos genera el estado de desarrollo en $t+1$.

El esquema anterior difiere sin embargo de otras conceptualizaciones, como por ejemplo la de Ackoff [1], para quien desarrollo no es un estado, sino "una capacidad definida por aquello que (los individuos) pueden hacer con lo que tienen, para mejorar su calidad de vida y la de los demás".

Continuando bajo nuestro esquema, en el proceso de desarrollo de los países a través del tiempo es de esperarse un mayor bienestar compartido, observable cuando el perfil de desarrollo crece en sus valores medios y disminuye sustancialmente su dispersión, correspondiendo a una mejor distribución de la calidad de vida entre los individuos de la misma generación y de las generaciones subsecuentes.

Sin embargo, aun cuando el fenómeno anterior es comprobable en los países desarrollados, bajos los postulados de la escuela económica neoclásica, que sostiene que el propio proceso de desarrollo tiende a generar correctores endógenos que reducen la desigualdad, no lo es para los países en desarrollo.

En efecto, como observa Ifigenia Navarrete [6], "los correctores económicos endógenos que deberían abaratar el capital al acumularse éste, y encarecer la mano de obra al alcanzarse la ocupación plena, permitiendo mejorar la distribución, han resultado sustancialmente inoperantes, puesto que solo el trabajo especializado o altamente calificado se retribuye a un nivel relativamente elevado".

De lo anterior, es válido preguntarse en qué forma podría encauzarse el desarrollo, para que con el auxilio de mecanismos exógenos de política económica, pudiera lograrse una mejor distribución del ingreso per cápita.

1.2 ENCAUZAMIENTO DEL DESARROLLO

Un mejoramiento del estado de desarrollo del individuo en $t+1$ depende desde luego del estado de desarrollo en t y de su potencial para el período $[t, t+1]$. Este último corresponde a la capacidad para mejorar su nivel de vida; esto es, de su motivación y habilidad para lograr el desarrollo, así como a las oportunidades de empleo y educación que estén a su alcance.

Cuando hablamos del mejoramiento del estado de desarrollo de los países, la velocidad de cambio de los perfiles correspondientes dependerá del grado de desarrollo actual, alcanzado a través del esfuerzo acumulado de generaciones anteriores, de los recursos de todo tipo disponibles y la forma de asignarlos a las actividades productivas, así como de los obstáculos culturales que restringen la posibilidad de mejoramiento.

Es aquí donde se observa la conveniencia de encauzar las acciones para lograr los cambios de perfil deseados. Se presentan diferentes opciones de perfiles de desarrollo futuro que pueden ir desde el deseo deliberado de incrementar la media del bienestar con la misma dispersión, la opción de incrementar la media cerrando también la dispersión asociada con la distribución del bienestar y las

(3)

demás combinaciones intermedias. Es este proceso de encauzamiento o planeación del desarrollo el que juzgamos impostergable, principalmente en los países en desarrollo, cuando observamos que el solo juego de los factores endógenos de la actividad económica han dado como resultado perfiles de desarrollo en donde solo se logra incrementar la media del bienestar, sin mejorar su distribución y en donde la tendencia no permite identificar para el futuro situaciones distintas a las ya experimentadas.

1.3 EL PROCESO DE PLANEACION

Por planeación del desarrollo entendemos el proceso permanente de previsión, coordinación y encauzamiento de las medidas y acciones concertadas por la sociedad, que se requieren para el aprovechamiento efectivo de los recursos humanos, materiales y tecnológicos del país, con el fin de lograr un desarrollo continuo y permanente, cuyos resultados produzcan un perfil de mayor bienestar social, distribuido más equitativamente entre todos los sectores de la población y regiones del país [7].

La planeación del desarrollo puede asociarse a distintos niveles de agregación, partiendo del individuo, pasando por las empresas productoras de bienes y servicios, los sectores de actividad económica y el país en su totalidad, correspondiendo éste al mayor nivel de agregación. Asimismo, asociando la dimensión territorial a la planeación, ésta podrá llevarse al nivel de un asentamiento humano, a una región o a la totalidad del territorio (ver sección 3.2 para mayor detalle).

Es claro el nivel de complejidad de la planeación del desarrollo a medida que avanzamos en ese esquema de agregación. Esta complejidad es aún mayor cuando consideramos la estrecha interrelación de la actividad económica entre regiones y entre sectores. Lo anterior invita a cuestionar primeramente la factibilidad de realizar la planeación efectiva a altos niveles de agregación y por lo tanto a lograr el encauzamiento del desarrollo.

4

A continuación, el siguiente cuestionamiento es sobre quién debe realizarla. En este sentido, Ackoff considera que la planeación para el desarrollo efectivo no pueden hacerla algunos para los demás, sino que cada quien debe hacerla, pero pueden ser auxiliados por planeadores profesionales, [1].

Nosotros coincidimos con la posición anterior cuando se trata de la planeación desagregada al nivel de desarrollo individual o de pequeñas comunidades en el extremo de la curva de distribución del ingreso y las oportunidades.

Sin embargo, al hablar de planeación a mayores niveles de agregación sectorial o territorial, disentimos de Ackoff y pensamos que si bien la planeación debe ser realmente participativa para lograr efectividad, esta debe integrarse y realizarse por grupos de planeación profesionales, como lo ha hecho por ejemplo Francia, en el transcurso de sus siete planes iniciados por Massé [4] en 1946.

Con respecto al primer cuestionamiento, consideramos que para mayores niveles de agregación, la complejidad del proceso de desarrollo y la gran interacción de sus componentes requiere, para que la planeación logre resultados al aplicarse, que ésta conceptualice en forma integral al país, identificando sus elementos componentes y su entorno, de tal forma que sea posible estructurar razonablemente el proceso de planeación. Asimismo, la planeación de dicha estructura integral, debe ser el resultado de un proceso analítico-sintético que permita establecer mediante la formación de conceptos creativos, cuál perfil de desarrollo buscar en base a los objetivos generales y cómo lograrlo. Desde luego que dicha planeación deberá ser igualmente pragmática, teniendo en cuenta los serios obstáculos del desarrollo para buscar la forma de removerlos, así como el potencial para señalar los mecanismos que lo liberen para materializarlo.

Sostenemos que los requerimientos señalados para lograr una planeación efectiva a diferentes niveles de agregación; esto es, la estructuración conceptual del país y sus interacciones, y el proceso analítico-sintético que permita derivar el plan, los ofrece el campo del conocimiento conocido como Ciencia de los Sistemas, lo cual trataremos de mostrar más adelante, después de señalar los aspectos relevantes de dicho campo.

LA CIENCIA DE LOS SISTEMAS

En la actualidad, un cuarto de siglo después de la institucionalización formal de las agrupaciones profesionales de Investigación de Operaciones y el Instituto de Ciencias Administrativas en Norteamérica, es ampliamente conocido el tipo de problemas y las herramientas metodológicas que, bajo diversos nombres, se han desarrollado para el tratamiento de sistemas complejos.

El tema central de estas disciplinas se refiere a los *sistemas*, que para efectos nuestros definiremos con Hall [2] como: *un conjunto de objetos con interrelaciones, tanto entre los objetos como entre sus atributos*. Asimismo se establece que los atributos son propiedades de los objetos.

El siguiente concepto fundamental es el de *entorno*. Se dice que para un sistema dado, su entorno es el conjunto de objetos fuera del sistema tales que, al cambiar sus atributos afectan al sistema y también que dichos atributos pueden modificarse con el comportamiento del sistema.

Por la generalidad de los conceptos anteriores, se intuye la necesidad y conveniencia de clasificar a los sistemas, para lo cual se han hecho considerables esfuerzos en el pasado. Para nuestra exposición consideramos la dicotomía siguiente: *sistemas de la naturaleza*, cuya descripción y estudio es campo de las ciencias físicas y sociales y los *sistemas desarrollados por el hombre*, (sean *físicos*, como un sistema de transporte o *abstractos*, como un sistema económico o administrativo), hacia los cuales se dedicarán las discusiones subsecuentes.

Los problemas asociados con los sistemas pueden clasificarse, relacionándolos con: la operación de un sistema existente, la expansión o contracción del sistema, o bien la creación de un sistema nuevo.

Históricamente, el conjunto de problemas operacionales de sistemas existentes, relacionados con la investigación de la operación óptima de los mismos, se adoptó como campo principal de la denominada Investigación de Operaciones. Su inicio se remonta a la investigación y recomendación de estrategias para operaciones navales durante la segunda guerra mundial; sin embargo, su aplicación se ha generalizado internacionalmente a la operación de sistemas complejos provenientes de toda la gama de la actividad económica.

En las aplicaciones contemporáneas se observa un gran campo para los países en desarrollo en donde, como observa Morse [4], uno de los iniciadores de esta área del conocimiento, los sistemas operacionales son usualmente menos complejos que los de los países más desarrollados y adicionalmente los beneficios potenciales son mayores.

Por otra parte, la naturaleza del problema de la expansión de un sistema existente o la creación de un nuevo sistema implican la necesidad de planear su desarrollo. La solución de este tipo de problemas ha sido el campo principal de la denominada Ingeniería de Sistemas, iniciada también a fines de la década de los cuarenta en los Estados Unidos por grupos de investigación de empresas industriales, principalmente del sector telecomunicaciones.

Independientemente de las diferencias indicadas, existe una aceptación generalizada en el sentido de que son más los elementos de coincidencia que de discrepancia entre la Investigación de Operaciones y la Ingeniería de Sistemas, al punto de que se ha sugerido agrupar el tratamiento científico de problemas de sistemas bajo el nombre de *Ciencia de los Sistemas* [2]. En efecto, por una parte, ambas disciplinas aplican el denominado *enfoque de sistemas*, en contraposición con el enfoque de componentes, a la solución de problemas complejos. Este enfoque de sistemas se refiere tanto al análisis detallado de los problemas, identificando sus componentes principales y relevantes así como las interacciones entre estas y, de éstas con su entorno; como a buscar el equilibrio o mejoramiento del sistema en su totalidad, sin afectar su funcionamiento integral, al momento de sintetizar soluciones.

Por otra parte, la metodología empleada en la solución de problemas de sistemas, tanto por la Investigación de Operaciones como por la Ingeniería de Sistemas es el procedimiento analítico-sintético usual en el *método científico*; y en el proceso mismo de solución es común en ambas disciplinas el desarrollo de "modelos", principalmente analíticos, que permiten conocer con detalle el funcionamiento de los sistemas y los cambios que experimentarían bajo diferentes modificaciones en sus componentes o en sus interrelaciones. Los anteriores argumentos comprueban ampliamente la tesis de una mayor coincidencia de ambas disciplinas.

Volviendo a nuestro tema central: el desarrollo y su planeación a diferentes niveles de agregación, es evidente que la Ciencia de los Sistemas satisface ampliamente los requisitos estipulados en la sección anterior, para la planeación efectiva del desarrollo.

En efecto, la planeación corporativa, sectorial o territorial, es en sí un problema de expansión de sistemas existentes, los constituidos por la empresa, el sector o la región por planear. Estos sistemas son complejos, al estar constituidos por una variedad de componentes con alto grado de interrelación y de relación con sus entornos, por lo que la planeación de su desarrollo debe realizarse bajo el enfoque de sistemas.

Por otra parte, el proceso analítico-sintético necesario para elaborar un plan, requerimiento establecido para la planeación en los distintos niveles de agregación, lo ofrece también la Ciencia de los Sistemas.

De acuerdo con ello, en las secciones subsecuentes se propone el esquema de estructura conceptual para realizar la planeación bajo el enfoque propuesto de la Ciencia de los Sistemas.

ESTRUCTURA DE LA PLANEACION

3.1 EXISTENCIA DE LA ESTRUCTURA

Al plantear el problema de planeación bajo el enfoque de sistemas y al resolverlo con la metodología científica, nuestra experiencia en su realización e implantación para distintas empresas, diferentes sectores y variados horizontes, permite visualizar el surgimiento de una cierta estructura. Los principios básicos de esta estructura son aplicables con toda generalidad y es necesario percibirlos y reconocerlos con el objeto de facilitar la aplicación de la planeación con el cúmulo de la experiencia adquirida como país y permitiendo identificar formas para el mejor uso de recursos humanos escasos, dedicados a este quehacer en países de menor desarrollo.

La identificación de esta estructura emana no solo del estudio amplio y de la aplicación del método científico a los problemas de planeación específica, sino también al esfuerzo de síntesis que es necesario aplicar al proceso de planeación *per se*, en abstracto.

Koopman [3] reconoce la importancia, dentro del proceso de aplicación del método científico: observación experimental; razonamiento deductivo y formación conceptual, de esta última fase, como la forma especial de intuición que percibe el "orden", la "unidad" y la "armonía" y que conduce inductivamente a principios generales.

En las siguientes secciones se propondrán ciertos principios generales, resultado de ese esfuerzo sintético, del proceso en sus diferentes fases, los cuales como se podrá observar, constituyen un procedimiento general para la realización de la planeación.

3.2 ESQUEMA DE DESAGREGACION

Para enmarcar los principios generales conviene referirse a un esquema gráfico que muestre las dimensiones sectorial y territorial de la planeación, definidas en la Sección 1.3; así como los distintos niveles de desagregación de la planeación. Bajo el esquema representativo seleccionado (Fig. 3), el plan nacional de desarrollo quedaría representado por la totalidad del "cilindro", en donde objetivos, metas y estrategias serían globales, para la totalidad del territorio y de la actividad económica.

El procedimiento de desagregación del plan global, para efectos de hacerlo operativo, puede llevarse a cabo desagregando o partiendo con respecto a: la dimensión sectorial, la dimensión territorial o ambas dimensiones simultáneamente.

Al proceder a la desagregación sectorial, los "prismas" resultantes representarían planes nacionales (para la totalidad del territorio) de cada sector de la economía. Al continuar la partición en subprismas, resultarían los planes nacionales de subsectores económicos y así sucesivamente hasta llegar a la menor unidad indivisible para este efecto, que es la empresa.

Un proceso análogo aplicado a la dimensión territorial generaría en primer término "prismas" de base circular para cada región, representando al plan de la totalidad de la actividad económica para la región dada del territorio. La partición subsecuente de cada prisma generaría los planes globales de desarrollo de unidades territoriales de menor envergadura cada vez, hasta llegar al asentamiento humano o a una zona específica de éste.

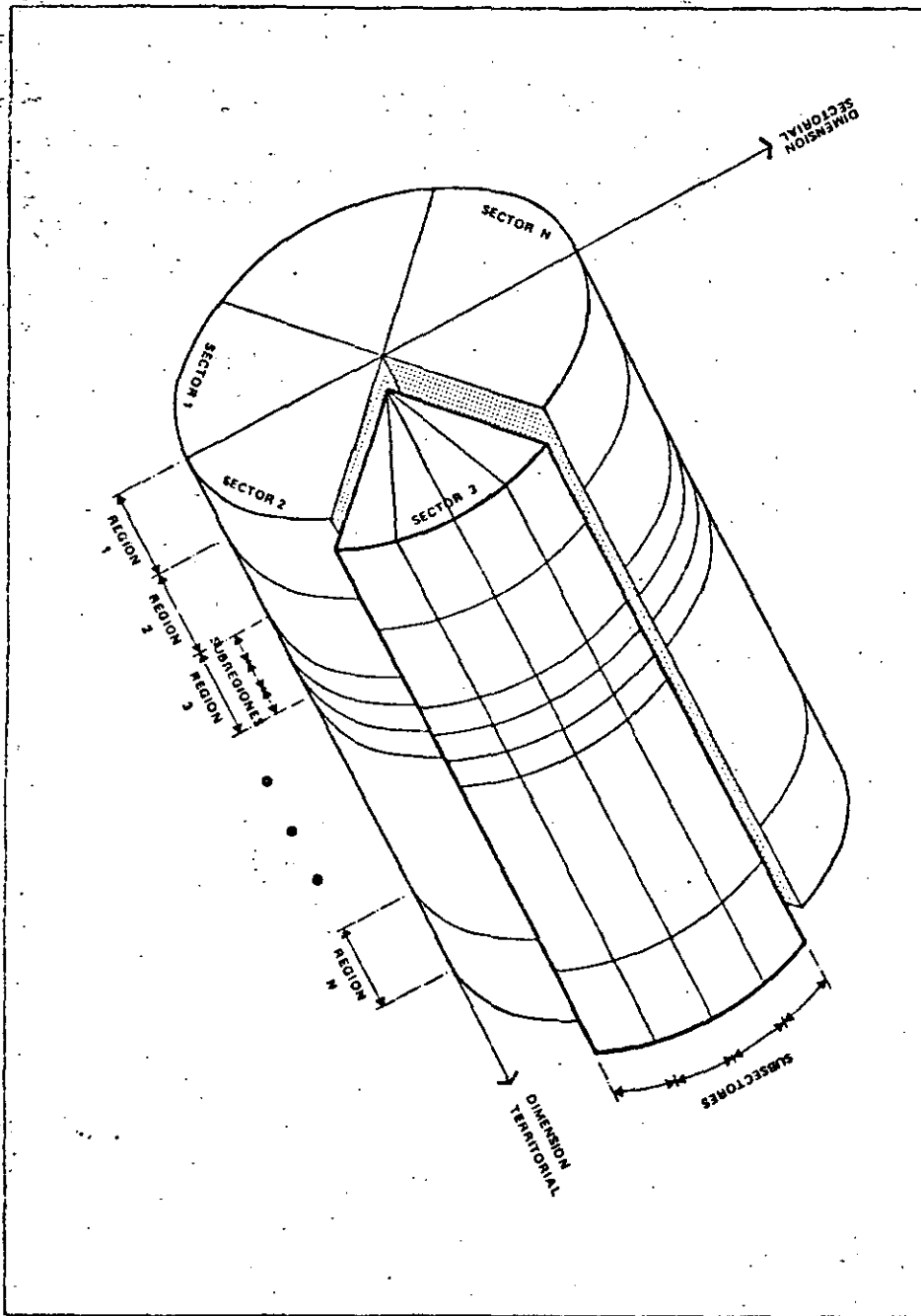
Por último, al desagregar simultáneamente bajo ambas dimensiones tendríamos el plan del sector *i*-ésimo en la región *j*-ésima, lo que equivale a la "rebanada" correspondiente del prisma regional. El proceso de partición al continuar, generaría planes subsectoriales de una subregión, terminando en el plan de una empresa del sector inicial, para una localidad dada de la región.

7

3.3 PRINCIPIOS GENERALES

El conjunto de principios generales o invariantes de la planeación que hemos identificado, de ninguna manera es exhaustivo. Sin embargo, proporciona elementos útiles en la búsqueda de un esquema efectivo de planeación. Estos son los siguientes:

- El proceso constituido por el conjunto de fases ligadas entre sí, que nos permiten estructurar racionalmente los objetivos, metas, políticas y estrategias integrantes de un plan, es conceptualmente el mismo, independientemente del grado de desagregación sectorial o territorial de la entidad cuya planeación habrá de llevarse a efecto.
- El conjunto de instrumentos metodológicos necesarios para la ejecución de esas distintas fases de la planeación, principalmente las de pronóstico de necesidades y oportunidades futuras, de generación de opciones alternativas de desarrollo y de evaluación *ex ante* de estrategias para decisión, y *ex post* de consecuencias para control, están disponibles y han sido desarrollados por la Ciencia de los Sistemas.
- Para los países en desarrollo la información de partida con frecuencia es incompleta y no con un alto grado de confianza, lo que obliga al empleo constante de "razonamientos aproximados" y permite intuir la conveniencia de elaborar y utilizar una metodología de planeación más cercana a la realidad del sujeto de la planeación.
- Los elementos que componen a los sistemas por planear: empresa, subsector o sector y país, son descriptivamente los mismos, independientemente del grado de desagregación sectorial o territorial.
- Para un mismo nivel de desagregación sectorial, independientemente del sector económico bajo estudio, el tipo de información requerida sobre el sistema y sobre el entorno, para efectos de análisis y diagnóstico es el mismo.



- f. La uniformidad de la planeación que se observa en los principios anteriores permite concluir sobre la posibilidad de que los países desarrollen expertos "generalistas" que puedan conducir eficientemente a grupos de trabajo en los quehaceres de la planeación, independientemente del sector o espacio que se planee.

3.4 GENERALIDAD DEL PROCESO DE PLANEACION

La experiencia derivada de casos de planeación en este y otros países nos señala que el proceso de realización obedece a una serie de pasos o fases de aplicación general, independientemente de que se trate de la planeación del país, de un sector o de una empresa y en cualquier ámbito espacial. Aun cuando la terminología cambia entre distintos autores, así como la secuencia de algunas fases, puede considerarse en términos generales que el proceso concuerda con el mostrado en la Fig. 4.

En ella destacan por una parte la linealidad del proceso y su flujo de retroalimentación, reflejando así su carácter dinámico y permanente y por otra, la interacción con la comunidad y otros organismos encargados de los variados aspectos de la planeación, a lo largo del proceso.

3.5 HERRAMIENTAS DE LA PLANEACION

En relación con los instrumentos metodológicos específicos empleados para la ejecución de las distintas fases del proceso indicado, en especial las de pronóstico de requerimientos, de integración de estrategias alternativas y de evaluación *ex ante* y *ex post* de impactos potenciales y reales respectivamente, en general se emplean las herramientas avanzadas de la Investigación de Operaciones y de la Ingeniería de Sistemas.

(P)

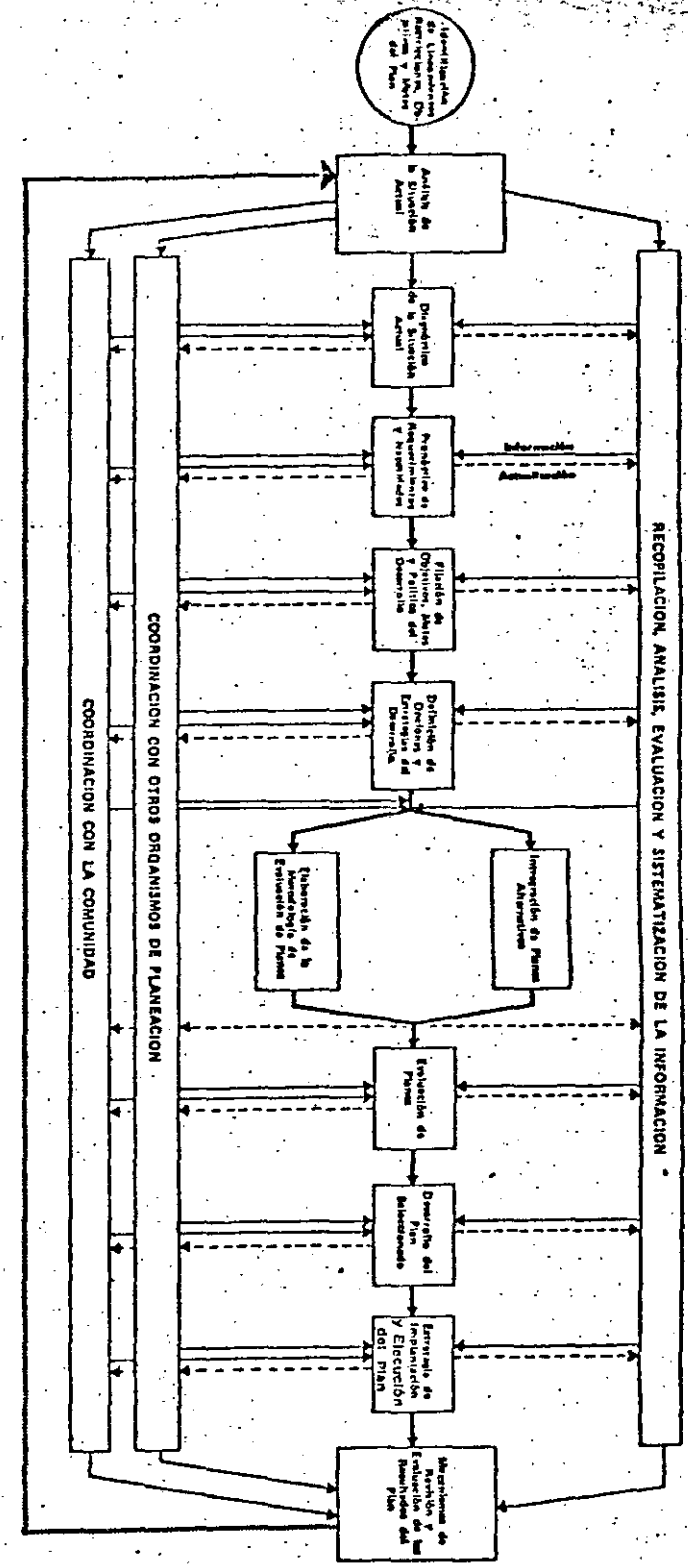


FIG. 4 DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL PROCESO DE PLANEACION

Los métodos y algoritmos empleados de optimización y evaluación invitan a cuestionar si para países en desarrollo la aplicación directa de estos métodos es la más conveniente, sobre todo si se tiene en cuenta que desde la fase de análisis y diagnóstico, la cantidad y confiabilidad de la información disponible es limitada.

En este contexto y sin base experimental aún, se considera conveniente explorar lo que la intuición nos señala, en el sentido de formalizar el proceso de "razonamientos aproximados" que tenemos que adoptar frecuentemente con el auxilio quizá de la denominada "teoría de conjuntos difusos" desarrollada por Zadeh [8] a principios de la década de los sesenta y que utiliza conceptos y propiedades de conjuntos borrosos no bien definidos.

3.6 COMPONENTES DEL SISTEMA A PLANEAR

Como se puede observar a continuación, las componentes principales que forman el sistema que debe planearse son las mismas si se trata de un nivel agregado o del país, o bien de niveles desagregados como el sectorial o corporativo.

En efecto, al hablar del nivel de máxima agregación, y considerando al país como un sistema, se observa que sus componentes principales son las siguientes:

1. ESPACIO

Constituido por un territorio o suelo, el subsuelo, el espacio aéreo y su mar patrimonial, en donde cada una de sus componentes presenta atributos como pueden ser morfológicos y de climatología, entre otros, así como situacionales.

2. RECURSOS NATURALES

Que usualmente se clasifican, atendiendo a su naturaleza perecedera, en renovables como son entre otros los forestales, pesqueros e hidráulicos o no-renovables como los mineros y petroleros.

3. RECURSOS HUMANOS

Constituidos por su población con características de distribución geográfica, grado de bienestar, de necesidades insatisfechas, de potencial de desarrollo y de acceso a oportunidades de empleo y de educación.

4. ORGANIZACION

Que orienta y controla las actividades de todo tipo de la población.

5. ACERVO DE CAPITAL

Formado por las instalaciones creadas en el pasado por los habitantes, utilizando el espacio y los recursos naturales existentes.

6. MECANISMO PRODUCTIVO

Diseñado para la producción de los bienes y servicios que permitan satisfacer las necesidades de la población, respondiendo a las preguntas de qué y cuánto producir, para quién, cuándo y en qué sitio producir. La actividad económica se genera entonces cuando el mecanismo productivo hace uso de los diferentes elementos que constituyen al país visto como sistema, de acuerdo con ciertas normas políticas y económicas, para satisfacer en determinada forma las necesidades de todo tipo de la población, derivándose de ello un cierto estado de desarrollo.

Al desagregar la planeación por sectores o por regiones, el espacio, los

recursos naturales y humanos empleados, la organización, acervo de capital y mecanismo productivo siguen siendo los elementos componentes del sujeto de la planeación, aun cuando cuantitativa y cualitativamente varfen según el nivel considerado.

Lo anterior debiera facilitar por una parte la recolección, archivo y localización de la información necesaria para planear, a cualquier nivel, teniendo en cuenta que los elementos del sistema son similares.

3.7 INFORMACION REQUERIDA PARA EL ANALISIS Y DIAGNOSTICO

El sistema que permite la actividad económica de un país lo constituyen las unidades de producción denominadas empresas, que a su vez producen bienes intermedios o bienes de consumo final, conforme a la división usual de la producción.

La totalidad del sistema productivo puede desagregarse primeramente en los sectores primario, secundario y terciario, los cuales a su vez pueden partirse en subsectores y áreas de actividad económica, hasta llegar a la mínima unidad formada por la empresa (Fig. 5).

Al aplicar el método científico al proceso de planeación, la fase de análisis o de observación experimental implica el conocimiento detallado del sujeto de la planeación, con la finalidad de diagnosticar su estado actual de desarrollo, sus obstáculos y su potencial de desarrollo futuro.

Para esta primera fase de planeación es posible derivar un aspecto general consistente en que, para un nivel dado de agregación, existe una estructura básica de la información necesaria para realizar el análisis, independiente del sector económico de que se trate.

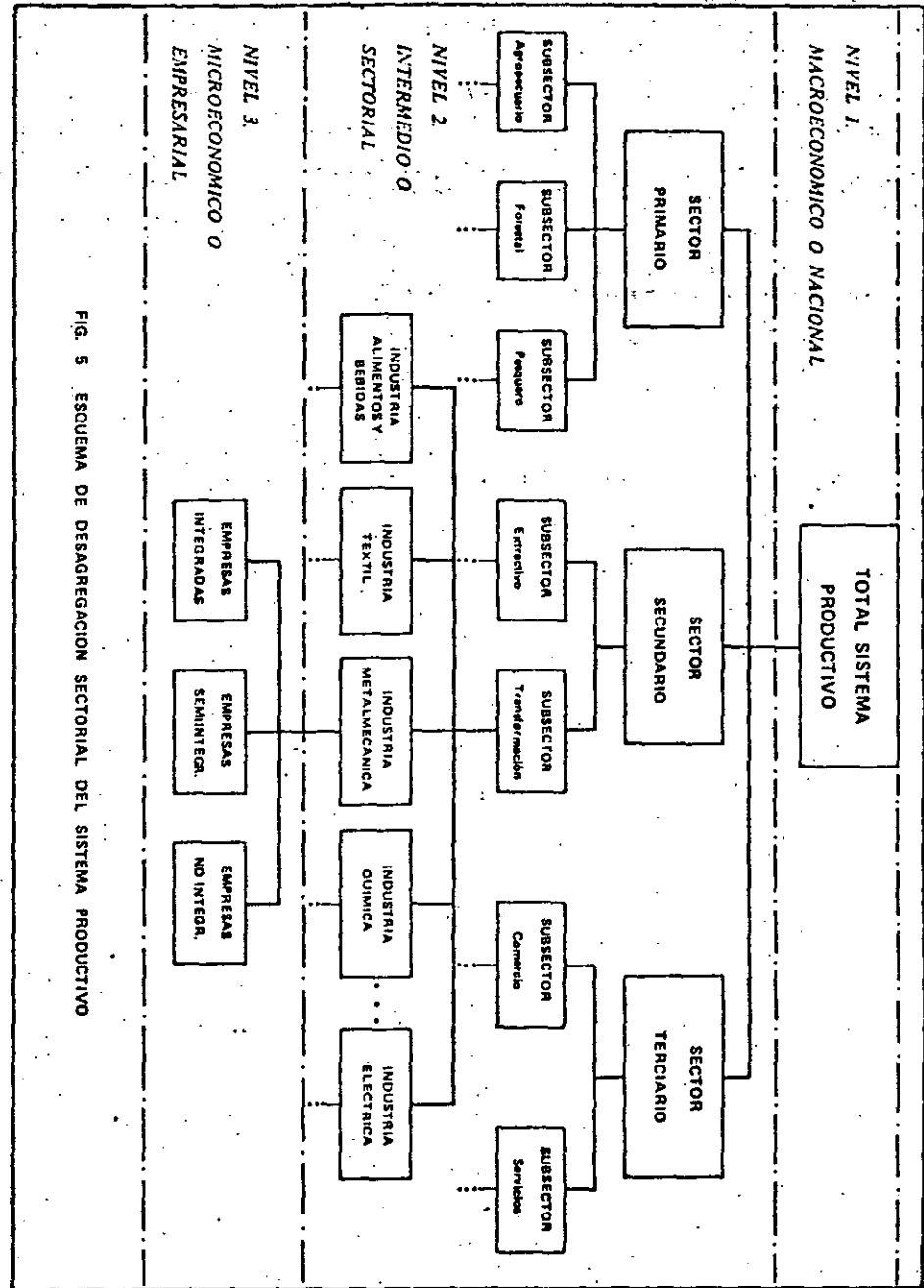


FIG. 5 ESQUEMA DE DESAGREGACION SECTORIAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO

De esta manera, si la planeación es para el nivel corporativo, indistintamente de los bienes o servicios que produzca, o del sector a que pertenezca, la información requerida para las fases de análisis y diagnóstico es similar en términos genéricos. Es necesario conocer las características del mecanismo de adquisición de insumos, del procedimiento de producción, de la comercialización y del mercado; asimismo será necesario conocer con detalle los sistemas de apoyo administrativo y financiero de la empresa.

Si la planeación se ejecuta para un nivel intermedio sectorial o de un grupo de empresas, la información será agregada y quizá no con un alto grado de confiabilidad y las estrategias de desarrollo probablemente no lleguen a tener el grado de detalle que tendrían para una empresa en particular. La información requerida para este nivel de planeación se refiere a las características globales del "sector oferta" en estudio, así como de su "sector demandante" de bienes y servicios; la problemática a identificar no será casuística, sino por el contrario, la que afecta a la mayoría del sector, siendo el proceso semejante para cualquier grupo de empresas.

Para el nivel de mayor agregación, la información requerida es la de la totalidad de la actividad económica, por lo que se utilizarán los principales indicadores macroeconómicos para efectos de análisis y diagnóstico.

3.8 RECURSOS HUMANOS PARA LA PLANEACION

Finalmente observamos que si los técnicos en planeación son escasos en los países desarrollados, tanto más lo serán en los países en desarrollo. Lo anterior desde luego invita a una mejor utilización de la capacidad instalada y de la experiencia acumulada en esta materia.

Dada la uniformidad y estructura del proceso de planeación que se observa en los principios anteriores, se considera plausible que los países en desarrollo

preparen expertos generalistas que puedan conducir con efectividad a los grupos de trabajo complementarios, formados por expertos en el sector y territorio del tema por planear.

Para ilustrar objetivamente la combinación de expertos generalistas con especialistas en los campos requeridos, integrando los denominados "grupos interdisciplinarios" para realizar la planeación, ofrecemos el concepto de "perfil de experiencia-conocimiento" que hemos elaborado en la Fig. 6 para este propósito.

Para ello, consideremos a cualquier profesional de la planeación, quien a través del estudio y la investigación, así como de su trabajo profesional, adquiere conocimientos sobre el proceso de planeación a diferentes niveles, sobre las herramientas metodológicas disponibles y sobre las áreas específicas susceptibles de planeación, entre otras cosas. Si representamos estos conocimientos en la forma estructurada de casilleros de la Fig. 6, dividida en las tres secciones indicadas y si para cada columna se desglosan con más detalle los conocimientos disponibles, puede trazarse un perfil que denominaremos de "experiencia-conocimiento" del profesional, que cuánto más bajo en todas sus columnas empieza a definir el perfil del experto generalista. La profundidad del conocimiento referido a cada casillero se representa en la tercera dimensión de la misma figura.

Por tanto, el experto generalista como lo entendemos, es la persona con un perfil de experiencia-conocimiento amplio y con profundidad en los casilleros de "herramientas metodológicas" y de "tipos de problemas" y cuando menos amplios en el conocimiento de diferentes áreas de aplicación de la planeación.

Es claro que cada trabajo de planeación tendrá su propio perfil de experiencia-conocimiento requerido para llevarlo a cabo, el cual tendrá que satisfacerse a base de complementar el perfil del generalista disponible, con los perfiles de otros especialistas, integrando así el grupo interdisciplinario de planeación.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

COMPLEJIDAD DE LOS SISTEMAS

DR. FELIPE OCHOA ROSSO

NOVIEMBRE, 1984

LA UNIVERSALIDAD DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

Dr. Felipe Ochoa R.*

1: EL PORQUE DE LA COMPLEJIDAD DE LOS SISTEMAS

El grado de complejidad de los sistemas es un t3pico que preocupa de singular manera en la 3poca actual. Nos hemos de circunscribir en este ensayo al mundo hecho por el hombre y por ende, a los sistemas creados por el hombre para ser usados por 3l mismo; evitando cualquier especial referencia a los sistemas de la naturaleza, y a3n, dentro de la variedad de los sistemas humanos, que pudieran agruparse en *sistemas sociales* y *sistemas productivos*, vamos a hacer especial 3nfasis en estos 3ltimos.

Para iniciar, definiremos a un sistema productivo como "un todo formado por un conjunto de elementos humanos y mec3nicos interrelacionados y estructurado para desempe3ar la funci3n de producci3n de satisfactores para la sociedad". Esto es, sistemas en el sentido teleol3gico, distingui3ndose un comportamiento del conjunto, con prop3sitos deliberados.

Es evidente que los sistemas productivos de las sociedades contempor3neas exhiben una creciente complejidad. El elevado n3mero de elementos que conforman estos sistemas, pero sobre todo, la gran interacci3n entre componentes y entre 3stos y su entorno, constituyen las razones de las que se deriva dicho grado de complejidad.

La complejidad de los sistemas productivos cobra singular relevancia en el campo de la realidad, puesto que las sociedades y sus grupos profesionales son los encargados de crearlos y una vez en existencia, tienen que operarlos para que alcancen sus objetivos y cumplan as3 su raz3n de ser. Puesto que la importancia de estos sistemas se desprende del hecho mismo de que los satisfactores que en s3 producen, coadyuvan al desarrollo de los pa3ses, resulta por tanto necesario el tratamiento adecuado de "la complejidad" de los sistemas de producci3n de bienes y servicios.

No debemos conformarnos, sin embargo, con entender solamente el que el mayor grado de complejidad de los sistemas productivos (y desde luego, lo mismo pueda decirse de los sistemas sociales), estriba en la multiplicidad de interacci3n de sus componentes. Cabe tambi3n cuestionar

* Presidente del Consejo de Vigilancia, Instituto Mexicano de Sistemas. Presidente de FOA, Consultores, S.C.

el *porqué* los sistemas productivos de nuestros tiempos muestran una creciente complejidad. Y en este sentido nos damos cuenta de nuestra ineptitud para esclarecer si el creciente grado de complejidad a que nos hemos referido, es la causa o bien el efecto del esfuerzo del hombre por adecuarse a la expansión constante de su entorno.

2. PROBLEMATICA DE LOS SISTEMAS.

La *problemática* de los sistemas puede categorizarse en dos vertientes claramente diferenciadas: por una parte, los problemas asociados con los *sistemas existentes*, en los cuales no ha sido posible lograr los objetivos previstos y, por otra, la problemática de la creatividad, propia del diseño e implantación de los *sistemas nuevos*.

En el caso de los sistemas con operación deficiente, es inútil adoptar cualquier acción correctiva sin pleno conocimiento de los aspectos básicos que los conforman: su *estructura*, su *comportamiento* y la historia de su *evolución*. A un mayor grado de *complejidad* del sistema, corresponderá necesariamente un mayor grado de *dificultad* en su tratamiento.

A su vez, refiriéndonos ahora a la creación de nuevos sistemas productivos, el proceso de diseño de su gran número de elementos componentes y de sus múltiples interrelaciones, presenta en ocasiones dificultades muy serias para la integración de soluciones factibles, para no mencionar nada de las óptimas.

Dado el grado de dificultad inherente al tratamiento de sistemas complejos, es válida la preocupación y la búsqueda de un paradigma que permita soluciones ideales y a la vez realizables. Esta preocupación es central en el campo de la ingeniería de sistemas.

3. DIFICULTAD DE TRATAMIENTO.

Como paradoja de nuestra época, a medida que por una parte la complejidad de los sistemas hechos por el hombre continúa con paso acelerado, por otra se observa que las disciplinas de la ciencia y el instrumental de las profesiones, se especializa cada vez más. En efecto, el proceso

reduccionista del análisis, identifica constantemente campos más específicos del conocimiento, forzando de hecho a la especialización del mismo.

Este hecho es preocupante puesto que la múltiple interacción de los elementos que componen a los sistemas productivos, la diversidad que muestran dichos componentes y los campos profesionales que abarcan las distintas interrelaciones, así como los impactos que generan en el entorno, dificultan el análisis independiente y especializado de las componentes del sistema. De hecho la comprensión de la estructura de los sistemas productivos, de su comportamiento y evolución invita más a un ejercicio sintético de las partes, *como componentes inseparables del todo*, que a un proceso analítico de las componentes *per se*, sin atención debida a sus interrelaciones.

En lo anterior estriba la dificultad del tratamiento de sistemas complejos. Por una parte se requiere un modo de pensamiento sintético, el comúnmente denominado *enfoque de sistemas*, en tanto que en la realidad, la tendencia de las profesiones conduce más hacia el enfoque analítico de los componentes.

Como antídoto a la paradoja señalada anteriormente se ha respondido inicialmente con los llamados grupos *multidisciplinarios*, que descomponen el problema de creación de un nuevo sistema productivo, en subproblemas tratables por medio de disciplinas uniprofesionales. Resueltos estos en forma independiente, las soluciones se agregan, con resultados, que bien observa Ackoff¹, frecuentemente se encuentran lejos de lo mejor que se podía obtener.

Posteriormente, los grupos *interdisciplinarios* optaron por no partir el sistema en componentes unidisciplinarios, sino más bien tratarlo íntegramente, con participación coordinada de profesionales de diversas disciplinas. En este caso, sin embargo, con frecuencia cada profesión trata de aplicar sus propios paradigmas y de explicar a los otros profesionales, muchas veces con poco éxito, su proceso intelectual.

Nosotros pensamos que los problemas asociados con el mejoramiento o expansión de sistemas productivos existentes o con la creación de nuevos sistemas complejos, requiere del *perfil propio de experiencia/conocimiento de un generalista* y de un paradigma generalizado, el METODO DE LOS SISTEMAS, de naturaleza sintética e integral. Pensamos, por tanto, que es necesaria la preparación en nuestro medio, no solo de especialistas sino también y urgentemente de profesionales generalistas con enfoque de sistemas.

1 Arkoff, R.L., *Science in the Systems Age*, ORSA Vol. 21, No. 3, May-Jun, 1973.

2 Ochoa F., *Aplicación de la Ciencia de los Sistemas a la Estructuración de Problemas de Planeación*, Academia Mexicana de Ingeniería, Agosto 1977.

4. LA NECESIDAD DE GENERALISTAS.

La mayor complejidad de los sistemas productivos y la necesidad creciente de ellos en el proceso de desarrollo de los países, genera una presión sobre la integración del conocimiento y la experiencia en el campo de los sistemas. Esto, a nuestro juicio, señala una invitación clara hacia el generalismo, que por otra parte, no se observa en las tendencias actuales de la educación formal superior.

La formación generalista es la que enfatiza el conocimiento de principios más que de habilidades. Es *la formación conceptual*, cuya importancia reconoce Koopman¹, y explica como la forma especial de intuición que percibe el "orden" la "unidad" y la "armonía" y que conduce inductivamente a principios generales.

Observa Weinberg² que, "el generalista, al igual que el viajero que visita consecutivamente varias ciudades desconocidas, se va relevando de su miedo por otros sistemas nuevos para él, al desplazarse hacia niveles cada vez más elevados de generalidad, hasta que las cosas llegan a adoptar ese orden familiar y confortable". Y este desplazamiento permite ir integrando un proceso uniforme para la solución de los problemas de sistemas productivos —independientemente de la naturaleza de estos últimos— esto es, un solo paradigma, con base en la síntesis de que los paradigmas para sistemas distintos son muy semejantes, aunque oscurecidos por su propia terminología.

El generalista interesado en los problemas de administración de complejos sistemas productivos o en la planeación de nuevos sistemas para el desarrollo, debe rechazar creencias apriorísticas no sustentadas por la evidencia, para así moverse con libertad en la búsqueda sencilla de los invariantes conceptuales asociados con este tipo de sistemas.

5. EL METODO DE LOS SISTEMAS

Con base en los conceptos anteriores relacionados con la filosofía de los Sistemas, pasamos ahora a la discusión del *método* de los sistemas complejos, asociándolo convenientemente a las clases

1. Koopman, B.O., *Intuition in Mathematical Operations Research*, ORSA, 25, 1977.

2. Weinberg, G.M., *An Introduction to General Systems Thinking*, John Wiley, 1973.

de problemas identificados. Es necesario primeramente establecer una conceptualización generalista aplicable a los sistemas creados por el hombre para la producción de satisfactores en su secular lucha por la sobrevivencia de la especie y por su desarrollo.

Un esfuerzo sintético permite precisar con toda generalidad los componentes de un sistema productivo, independientemente del tipo de bienes o servicios que produzca, como sigue: los *recursos* de todo tipo que utiliza para su función, los *insumos* de materias primas y artículos necesarios para su fase de transformación, el *espacio físico* que utiliza, la *planta física*, las *instalaciones*, la *maquinaria y equipo*. Todo lo anterior como componentes mecánicas asociadas a una tecnología de producción. Asimismo y como componente fundamental, el *ser humano*, estructurado con ciertas pautas en funciones ejecutivas, de soporte o de trabajo directo en las líneas de operación.

Complementariamente podremos considerar los componentes de su entorno, que de manera general lo constituyen el resto de los sistemas productivos y el resto de la sociedad. Sin embargo, es posible considerar subconjuntos de éstos que interactúan más estrechamente con el sistema considerado.

Este entorno, que llamaremos de *primer orden*, lo conforman por una parte los grupos tanto de inversionistas como de financieros, que son los que proporcionan los recursos del sistema; por otra, los proveedores de insumos, las empresas que producen satisfactores equivalentes y de manera señalada los usuarios o adquirientes de los servicios o bienes, respectivamente. Aún dentro del primer orden, es fundamental considerar el medio ambiente natural, próximo al sistema productivo.

El entorno que podríamos denominar, de *segundo orden*, correspondería al resto de la sociedad, de los sistemas productivos y del medio ambiente, de alguna manera relacionados, aunque con nexos débiles, con el comportamiento del sistema productivo considerado.

Podemos retornar ahora la categorización de los problemas asociados con sistemas productivos, que ya anteriormente desprendíamos de dos condiciones distintas: la correspondiente a *sistemas existentes*, cuyo comportamiento o evolución no corresponde a sus objetivos originales, y la correspondiente al reto de crear *sistemas nuevos*.

Si tomamos primeramente el tema de solucionar los problemas asociados con sistemas productivos en operación, sea porque sus resultados no corresponden con lo previsto, o porque sus impactos sobre el entorno han resultado indeseables, se identifica la necesidad de un método analítico -

sintético del todo.

Es necesario el análisis del sistema productivo en su integridad con el objeto de diagnosticar su comportamiento. Esto es, el proceso que permite detectar la *cadena* de causas-efectos, sean en la estructura del sistema, en sus componentes, o en sus interrelaciones, que ha generado la discrepancia entre lo esperado y lo acontecido.

El paso del diagnóstico integral es imprescindible para lograr la síntesis subsecuente que permita la corrección del sistema. Por otra parte, el conocimiento claro de la cadena causa-efecto así como de la importancia relativa de sus eslabones, es la que permitirá la identificación de opciones posibles para corregir lo necesario. Este último paso es precisamente la parte creativa de la actividad del sistemista.

Finalmente el método exige la evaluación *ex-ante* de las posibles consecuencias asociadas con cada una de las opciones factibles para el reencaminamiento del sistema productivo. Al hablar de evaluación, entendemos la acción de juzgar tanto cuantitativa como cualitativamente, y con anterioridad a la acción, los impactos relativos de cada alternativa, sobre los elementos componentes del sistema, sobre sus interrelaciones y sobre los elementos que conforman a su entorno. Cuando tratamos con sistemas complejos, la labor no es fácil, desde luego, pero este marco conceptual y la estructura del método son auxiliares necesarios en un proceso, que aunque difícil, debe llevarse a cabo.

Pasando ahora al problema del diseño de nuevos sistemas se identifica en este caso, en contraposición con el anterior, la necesidad de contar con un método puramente sintético y creativo.

En efecto, el proceso corresponde a la necesidad de definir cuáles deben ser los componentes del sistema y cuáles sus interrelaciones, cuántos y cuáles los recursos humanos, tecnológicos y financieros, para que el sistema productivo así diseñado, logre cumplir sus objetivos, al tiempo que sus impactos sobre el entorno de primero y segundo orden se mantengan dentro de límites deseables o tolerables.

Es aquí donde la actividad del generalista que ha tenido la experiencia de atender diversos casos de diseño de sistemas productivos distintos, por medio de un ejercicio inductivo, logra establecer los principios generales, no sólo de los sistemas, sino también de su proceso de solución o paradigma sintético.

★

Cuando hacemos referencia a sistemas productivos concretos, como por ejemplo el correspondiente a los servicios de transporte, no obstante que lo consideremos en su nivel de máxima agregación, esto es como sector, los conceptos anteriores son de gran utilidad para concebir de manera deliberada su posible evolución futura.

Por una parte, es obvio que no es posible atender solo ciertos modos de transporte sin considerar su integridad y sus interrelaciones. Por otro, el generalista habrá de eliminar todas las restricciones tradicionales del sector, como es el caso del abandono del transporte por agua, costero y fluvial, si es que ha de encontrar soluciones para un sistema innovador y fresco, mediante un ejercicio creativo. Este ejercicio de creatividad deberá estar basado en *relacionar cosas o ideas que antes no lo estaban* creando así un nuevo sistema más prometedor que el anterior.

6. CONCLUSION

Debemos recordar que el mundo es un todo. La fragmentación del conocimiento sobre el mundo es análogo a la separación del cuerpo por sus órganos, de la superficie del planeta por sus unidades políticas, del quehacer gubernamental por sus distintas secretarías de estado, o de la economía por sus sectores productivos.

En el tratamiento de sistemas complejos debemos observar el ejemplo de algunos estadistas contemporáneos que han tomado el reto de reunir a las naciones para buscar, con el diálogo, un nuevo orden económico mundial, entendiéndolo de manera integral, con el enfoque generalista que hemos invocado. Este giro es sin duda muestra de una conciencia clara sobre la necesidad de síntesis.

El hombre ha aprendido a crear países dependientes y sin posibilidades de desarrollo, como lo ilustra una década de crisis energética, ¿Podremos regresar, antes de que sea demasiado tarde?



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

METODOLOGIA DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE SISTEMAS

ENFOQUE SISTEMICO

DR. OVSEI GELMAN

NOVIEMBRE, 1984

METODOLOGIA DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE SISTEMAS:
ALGUNOS PROBLEMAS, RESULTADOS Y PERSPECTIVAS
Dr. O. Gelman.
Instituto de Ingeniería, Investigador.

Centro de Investigación Prospectiva, Fundación, Javier Barros Sierra,
Asesor Facultad de Administración de Empresas, Universidad de Tel Aviv,
Profesor Asociado (en licencia).

Abstract

The place of Methodology in the development of Science and Engineering is studied and presented together with a supporting analysis of different variants of General Systems Theories, considered as answers to a claim, for a new Methodology, the persistence of the claim, due to a proved insufficiency of the interdisciplinary responses, is shown.

A study of the construct "System" and the "General System" definition, constituting the basis of the Systems Approach, is made as a contribution to the new Methodology. In the framework of this approach an analysis of "Scientific Theory" as a functional structure is developed. The results obtained allow for a presentation of an effective logical format to planning Systems Engineering Projects.

Resumen

Se presenta un estudio del papel de la metodología en el desarrollo de la ciencia y de la ingeniería, apoyado con un análisis de los orígenes de las variantes de teorías generales de sistemas como respuestas a la demanda por una nueva metodología. Se muestra la persistencia del clamor debido a la insuficiencia manifiesta de las respuestas de tipo interdisciplinario.

Se contribuye a la nueva metodología con el estudio de "Sistema", como forma epistemológica, y con la definición de "sistema general", bases del enfoque sistémico; usando éste, se desarrolla un análisis de "teoría científica" como una estructura funcional. Los resultados obtenidos permiten presentar un formato lógico eficaz para planificar proyectos en ingeniería de sistemas.

INTRODUCCION: Metodología y Ciencia de Sistemas

El papel de la metodología en la ciencia y la ingeniería.

La poca popularidad de la metodología como resultado de:

- la especificidad de las actividades científicas de los especialistas, usando el método de prueba y error, combinación, transformación o traslación de los métodos conocidos, etc.

la consideración de la metodología como una actividad menor y subordinada de la misma naturaleza de las investigaciones específicas.

carencia de reportes sobre actividades metodológicas.

Un cierto retraso en el desarrollo de la metodología como resultado de:

una diversidad de metodologías de ciencias especiales: metódicas.

antecedentes filosóficos pobres, ingenuos y arcaicos de los especialistas.

Del enfoque "nativo-filosófico" al "teórico-cognoscitivo":

el paradigma de la actividad humana y diferentes papeles del metodólogo y el metodólogo en ella. (fig. 1, 2, 3).

Renovado interés en la metodología. Clamor del periodo Post-Industrial:

Bunge: es necesario un "Credo" en los cruceros y callejones sin salida.

Bohr: llamado por una teoría "loca" como resultado de un cambio en el estilo de pensamiento.

Winer y Rosenblueth: búsqueda de nuevos conceptos.

Ackoff: demanda por la Sistemología como la base natural de fusión de ingeniería industrial, administración e investigaciones de operaciones.

Bertalanffy: llamado por la unificación de las ciencias y búsqueda de leyes isomórficas generales.

Variante de la Teoría General de Sistemas como respuesta a la búsqueda por una nueva metodología.

Las raíces de la TGS

un llamado para la unificación de la ciencia; la necesidad de un lenguaje general y de un marco conceptual unificado, surgidos de la creencia en la universalidad y generalidad del mundo y sus leyes.

la aparición de nuevos y más complicados objetos de estudio (pasando de una simplicidad organizada, a través de una complejidad no organizada, a una complejidad organizada: sistemas de gran escala, hombre-máquina, social, etc).

el desarrollo de problemas nuevos y complejos formando sistemas interconectados;

nuevos métodos: computadoras y simulación, matematización de las ciencias, modelado.

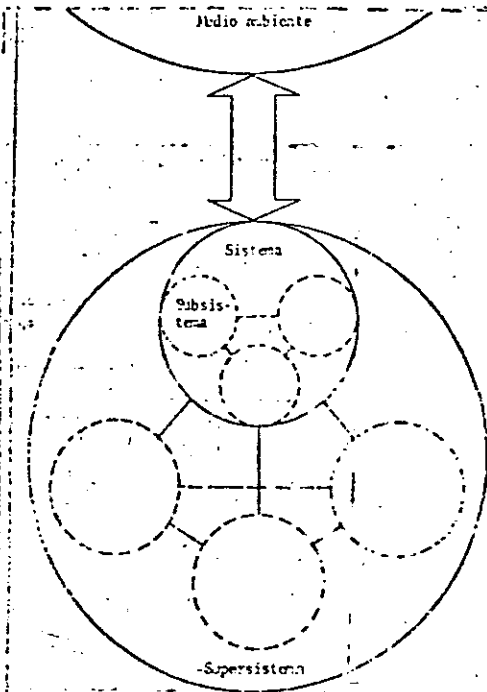


Fig 7 Paradigma de las relaciones entre subsistemas, sistemas, supersistemas y medio ambiente

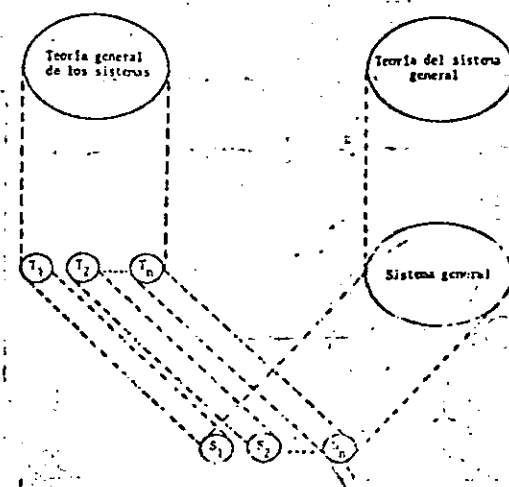


Fig 9 Paradigma para la construcción de dos diferentes conceptos: teoría general de los sistemas y teoría del sistema general

6

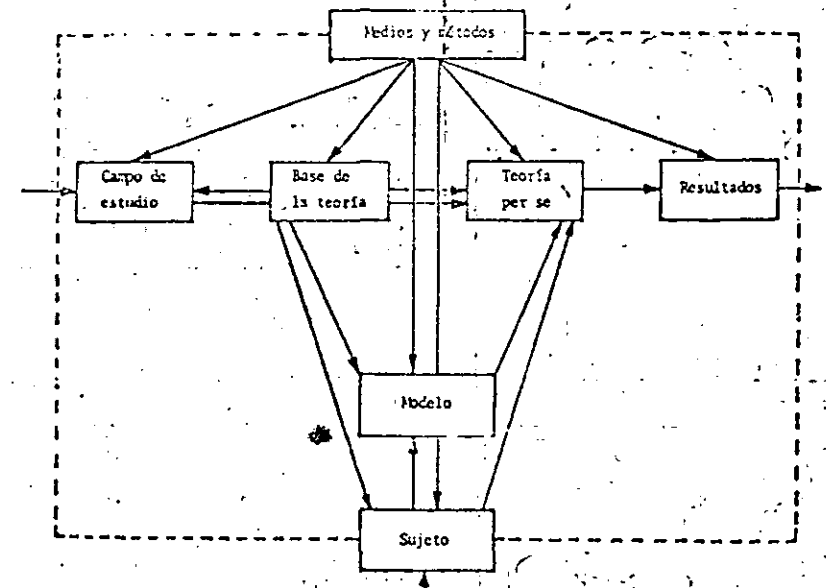


Fig 8 Diagrama de la estructura funcional teoría científica (primera aproximación)



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

INTRODUCCION

METODOLOGIA DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE SISTEMAS

ALGUNOS PROBLEMAS, RESULTADOS Y PERSPECTIVAS

PAPEL DE LA PLANEACION EN EL PROCESO DE CONDUCCION

CONSIDERACIONES PARA ELABORAR UN PROGRAMA DE DESARROLLO RURAL

SISTEMA DE PROTECCION Y RESTABLECIMIENTO DE LA CIUDAD

DE MEXICO FRENTE A DESASTRES

DR. OVSEI GELMAN

NOVIEMBRE, 1984

INTRODUCCION

La necesidad de aprender la estructura general de planeación así como su papel dentro de un proceso más amplio de conducción (gestión) que justifica y da sentido a la planeación como una de sus herramientas fundamentales, surge del objetivo de analizar las relaciones entre planeación y prospectiva como ciertos sistemas de actividades humanas.

El análisis se basa sobre dos suposiciones. Por un lado, se considera los estudios prospectivos como parte crucial del proceso de planeación en general, y a largo plazo, en particular. Por otro, se interpreta la planeación prospectiva como un intento de planificar ciertas actividades cuyos resultados aparecen a muy largo plazo, esto es, a un horizonte más lejano que el de planeación común.

Para apoyar estas tesis y proporcionar a los alumnos un material amplio, se optó por incluir, además de dos artículos

dedicados al análisis del papel y estructura de planeación, algunas publicaciones recientes.

El artículo "Metodología de la ciencia e ingeniería de sistemas: algunos problemas, resultados y perspectivas", publicado en Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Mérida, Yuc, Oct. 1978 permite entender mejor la dimensión cognocitiva tan importante en la planeación, así como proporciona una herramienta operacional para visualizar y conceptualizar sistemas.

Un aspecto adicional, que es necesario tomar en cuenta, es el de la insuficiencia de la planeación como tal, por lo que resulta indispensable complementarla con el diseño de una estructura espacial y organizacional. Este punto es analizado en dos artículos: "Consideraciones para elaborar un programa de desarrollo rural", publicado en Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Mérida, Yuc. Oct. 1978, y "Sistema de Protección y Restablecimiento de la Ciudad de México frente a desastres", publicado en la Revista Ingeniería, 1982, Vol LII, No. 4. Este último artículo ilustra también la eficiencia del esquema de planeación presentado, y la utilidad de las ideas expuestas en la solución de problemas reales.

METODOLOGIA DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE SISTEMAS:
ALGUNOS PROBLEMAS, RESULTADOS Y PERSPECTIVAS

LINE TO PUT THE TITLE OF THE PAPER

Dr. O. Gelman

Instituto de Ingeniería, Investigador

Centro de Investigación Prospectiva, Fundación Javier Barros Sierra, Asesor
Facultad de Administración de Empresas, Universidad de Tel Aviv, Profesor Asociado (en licencia)

Abstract

The place of Methodology in the development of Science and Engineering is studied and presented together with a supporting analysis of different variants of General Systems Theories, considered as answers to a claim for a new Methodology. The persistence of the claim, due to a proved insufficiency of the interdisciplinary responses, is shown.

A study of the construct "System" and the "General System" definition, constituting the basis of the Systems Approach, is made as a contribution to the new Methodology. In the framework of this approach an analysis of "Scientific Theory" as a functional structure is developed. The results obtained allow for a presentation of an effective logical format to planning Systems Engineering Projects.

Resumen

Se presenta un estudio del papel de la metodología en el desarrollo de la ciencia y de la ingeniería, apoyado con un análisis de los orígenes de las variantes de teorías generales de sistemas como respuestas a la demanda por una nueva metodología. Se muestra la persistencia del clamor debido a la insuficiencia manifiesta de las respuestas de tipo interdisciplinario.

Se contribuye a la nueva metodología con el estudio de "sistema", como forma epistemológica, y con la definición de "sistema general", bases del enfoque sistémico; usando éste se desarrolla un análisis de "teoría científica" como una estructura funcional. Los resultados obtenidos permiten presentar un formato lógico eficaz para planificar proyectos en ingeniería de sistemas.

INTRODUCCION: Metodología y Ciencia de Sistemas

El papel de la metodología en la ciencia y la ingeniería

La poca popularidad de la metodología como resultado de:

- la especificidad de los actividades científicas de los especialistas, usando el método de prueba y error, combinación, transfor-

mación o traslación de los métodos conocidos, etc

- la consideración de la metodología como una actividad menor y subordinada de la misma naturaleza de las investigaciones específicas
- carencia de reportes sobre actividades metodológicas

Un cierto retrazo en el desarrollo de la metodología como resultado de:

- una diversidad de metodologías de ciencias especiales: metódicas
- antecedentes filosóficos pobres, ingenuos y arcaicos de los especialistas

Del enfoque "nativo-filosófico" al "teórico-cognoscitivo":

- el paradigma de la actividad humana y diferentes papeles del metodizador y el metodólogo en ella. (fig 1, 2, 3)

Renovado interés en la metodología. Clamor del periodo Post-Industrial:

- Bunge: es necesario un "Credo" en los cruces y callejones sin salida
- Bohr: llamado por una teoría "loca", como resultado de un cambio en el estilo de pensamiento
- Minner y Rosenblueth; búsqueda de nuevos conceptos
- Ackoff: demanda por la Sistemología como la base natural de fusión de ingeniería industrial, administración e investigación de operaciones
- Bertalanffy: llamado por la unificación de las ciencias y búsqueda de leyes isomórficas generales

Variantes de la Teoría General de Sistemas como respuesta a la búsqueda por una nueva metodología

Las raíces de la TGS

- un llamado para la unificación de la ciencia: la necesidad de un lenguaje general y de un marco conceptual unificado, surgidos de la creencia en la universalidad y generalidad del mundo y sus leyes

- la aparición de nuevos y más complicados objetos de estudio (pasando de una simplicidad organizada, a través de una complejidad no-organizada, a una complejidad organizada: sistemas de gran escala, hombre-máquina, social, etc)
- el desarrollo de problemas nuevos y complejos formando sistemas interconectados
- nuevos métodos: computadoras y simulación, matematización de las ciencias, modelado

La insuficiencia de las respuestas

- la cibernetica como un enfoque unificado para el estudio de los fenómenos de control y comunicación en animales y máquinas (nueva presentación de los objetos de estudio)
- investigación de operaciones en sus primeras etapas como un arte de construcción de modelos específicos para resolver problemas de optimización y toma de decisiones
- la TGS de Bertalanffy: creencia en leyes isomórficas generales dependientes de la estructura y la organización de los sistemas e independientes de la sustancia del sistema (competencia, homeostasis, cinética generalizada con el modelo de sistema abierto, etc)
- la TGS como una metateoría de modelado: Klir
- la TGS como una teoría matemática de sistema abstracto: Mesarovic
- la TGS como una teoría de modelos isomórficos: Rapoport
- la ingeniería de sistemas para los problemas de diseño y proyección de los sistemas de gran escala (Chestnut, Hall), como medio de planificación y organización de las diferentes actividades, empezando con la definición y el planteamiento del problema, su solución, terminando con su implantación

Dos conclusiones

- el desarrollo de todas estas variantes de la TGS no ha disminuído, sino antes, enfatizado la necesidad de estudiar metodología en general y en particular, llevar a cabo estudios específicos sobre qué es un sistema
- el paradigma sistémico como base de una nueva "revolución científica" (Kuhn) está detrás de todos estos desarrollos: foco de la ciencia y la tecnología contemporáneos

Algunos resultados de estudios sobre "teoría científica" y definición de "sistema"

El interés creciente en el estudio de teorías científicas se debe:

- al lugar especial en la cognición de las teorías en general, y de las TGS en particular

- el doble papel que juegan las teorías científicas como medio y, al mismo tiempo, como objeto de las investigaciones sistémicas

La insuficiencia de conocimientos y especificaciones sobre qué clase de teoría es o debe de ser

- no solo no existen respuestas claras a preguntas cardinales sobre la construcción de la TGS, las preguntas aún no han sido formuladas y estudiadas sobre sujetos como:

- + la base y el sujeto de la TGS
- + forma y contenido
- + especificidades y distinciones de otras teorías no-sistémicas
- + vínculos y relaciones con otras teorías
- + métodos de confirmación y validación
- + fuentes de generalidad y medios para evaluarla, etc

Crítica de la difundida idea de teoría como un sistema: un conjunto ordenado de proposiciones interconectadas (axiomas, hipótesis, postulados, leyes, etc) como resultado de:

- la tendencia dominante a reducir los problemas metodológicos al nivel y a las posibilidades de estudios lógicos en general; los cuales han encontrado su expresión en el intento por representar una teoría en la forma de un cálculo lógico interpretado (primer orden)
- utilizar inconcientemente el paradigma específico que constituye la base del enfoque "mecanicista y elementarista", buscando deducir las propiedades del sistema estudiado solamente del estudio de proposiciones y sus relaciones locales

El problema de la definición de "sistema" y la noción de "sistema general"

- crítica del "convencionalismo"
- la necesidad de una definición general, efectiva y sencilla
- aspectos metodológicos y epistemológicos de la definición
 - + la distinción entre el "objeto" y el "sujeto" de estudio
 - + el papel de enfoque de investigación (paradigma) en la conformación del "sujeto de estudio", organización de la experiencia
 - + el constructo como el contenido de la definición del concepto
 - + diferencia entre el procedimiento para formar el constructo y el de su subsecuente sustitución por su definición

- el "sistema general" como un constructo
- + las fuentes epistemológica y psicológica de dos representaciones específicas del "sujeto de estudio" de la investigación; la integral y la componencial (figs 4, 5 y 6)
- + el "sistema general" como un constructo formado por estas dos representaciones

La teoría científica como una estructura funcional

- la teoría bajo el enfoque integral: la idea de su descomposición funcional
- el estudio de la estructura "externa" de la teoría como fuente de obtención de sus objetivos globales, considerando el papel y lugar de la teoría dentro de un sistema más general del conocimiento científico; objetivos tales como el estudio y análisis de:
 - + el comportamiento (funcionamiento) y propiedades del objeto
 - + su estructura
 - + el comportamiento y propiedades de sus elementos o componentes
 - + cognición de los mecanismos y procesos responsables del comportamiento y de las propiedades del sistema en su totalidad
- estos fines son alcanzados a través de determinados funcionamientos de la teoría como:
 - + obtención y descripción de hechos
 - + organización de los hechos (selección, unificación, sistematización, organización, etc)
 - + inferencia de principios y leyes empíricas
 - + explicación, predicción y control
 - + obtención de nuevo conocimiento
 - + recomendación de esquemas efectivos para el cálculo y la solución de problemas
 - + construcción de representaciones ontológicas de la realidad
- el estudio de la estructura "interna" y en particular de una de sus posibles representaciones: la estructura funcional agregado hipotético de subsistemas interconectados tal que su funcionamiento asegura, completamente, el funcionamiento de la teoría en su totalidad como un determinado sistema conceptual. Alcanzando así este sistema ciertos fines de actividad cognoscitiva dentro de un sistema mayor de conocimiento científico (fig 8)
 - + "el campo de estudio": la formulación del problema, su traducción, reducción a una forma estándar, su generalización o reducción, formulación de nuevos problemas, etc
 - + "el campo objetivo" - "sujeto": para extraer un fragmento definido del mundo obje-

tivo (región objetiva), reconocimiento, selección y descripción, construcción del sujeto de la investigación empírica

- + "modelo": descripción por medio del análisis y la sistematización de hechos utilizando especialmente el objeto abstracto creado
- + "base de la teoría": suministro de las nociones básicas sobre el mundo objetivo: las formas gnoscológicas - paradigmas de Kuhn, organizadores de la experiencia de Bogdanov, los ideales del orden natural de Toulmin, plantillas de Lefebvre
 - = la fuente de la estructura de modelado: una totalidad de nociones hipotéticas, etc
 - = creación y suministro de multitud de conceptos básicos e iniciales, con sus definiciones y algunos elementos y objetos prestados por otras teorías
 - = suministro de términos lógicos
- + "teoría per se": para predecir y aportar nuevo conocimiento, para explicar y controlar, para el estudio del modelo, hallazgo de leyes e interpretación de resultados a nivel empírico
- + "resultados": para almacenar y entregar resultados en forma específica: leyes y ecuaciones, nuevos constructos, nociones y principios, recomendaciones prácticas, provisión científica, etc
- + "medios y métodos": para proveer a otros subsistemas métodos especiales, procedimientos, etc

Nuevos resultados

- Estudios desarrollados como base para:*
 - comparación de diferentes definiciones de sistema: su clasificación
 - clasificación de teorías científicas: el estudio de su generalización
 - perspectivas para la construcción de teoría de sistema general (fig 9)
- Aplicación especial en la ingeniería de sistemas del mundo desarrollado*
 - ingeniería como una actividad especial para construir (diseño e implantación)
 - especificidad de la ingeniería de sistemas: sistemas de gran escala (complejidad y globalidad)
 - + organización y coordinación de las diferentes actividades: diseño del proyecto

- estructura lógica del proyecto:
- + estudio de las dificultades: la problemática
- + definición de los objetivos
- + elaboración del paradigma
- + conceptualización de los sistemas
- + planteamiento de los problemas
- + especificación de los sistemas (medición de parámetros, etc)
- + estudio de las posibles soluciones (diseño nuevos sistemas, rediseño, optimización)
- + estudio de las alternativas de los estados deseados: planificación estratégica
- + estudio de los posibles senderos para pasar del estado actual al estado deseado
- + diseño de las acciones concretas necesarias; planificación táctica
- + implantación del proyecto con su consecuente adaptación

Planes para el futuro

Diseño de proyectos

- estudios sobre la descomposición de los proyectos
- formalización de ciertas etapas

- clasificación de los proyectos
- diseño de proyectos estándar
- La construcción de la teoría de sistema general como un proyecto de ingeniería*
- análisis de las variantes conocidas de la TCS: su tipología
- los problemas de la unificación de las teorías
- diseño de teorías con especificaciones para ser hecho por computadora
- Elaboración de medios lógico-metodológicos efectivos para la descripción, el modelado y el estudio de sistemas*
- estudio de los procedimientos para la formación de constructos, con énfasis específico en "sistema"
- análisis de la relación entre el constructo y el modelo como una diferencia entre las funciones de representación en el primero, y de sustitución en el segundo
- los problemas de la construcción de modelos con la utilización del álgebra moderna

Estudios del sistema de actividad humana como base de la metodología moderna

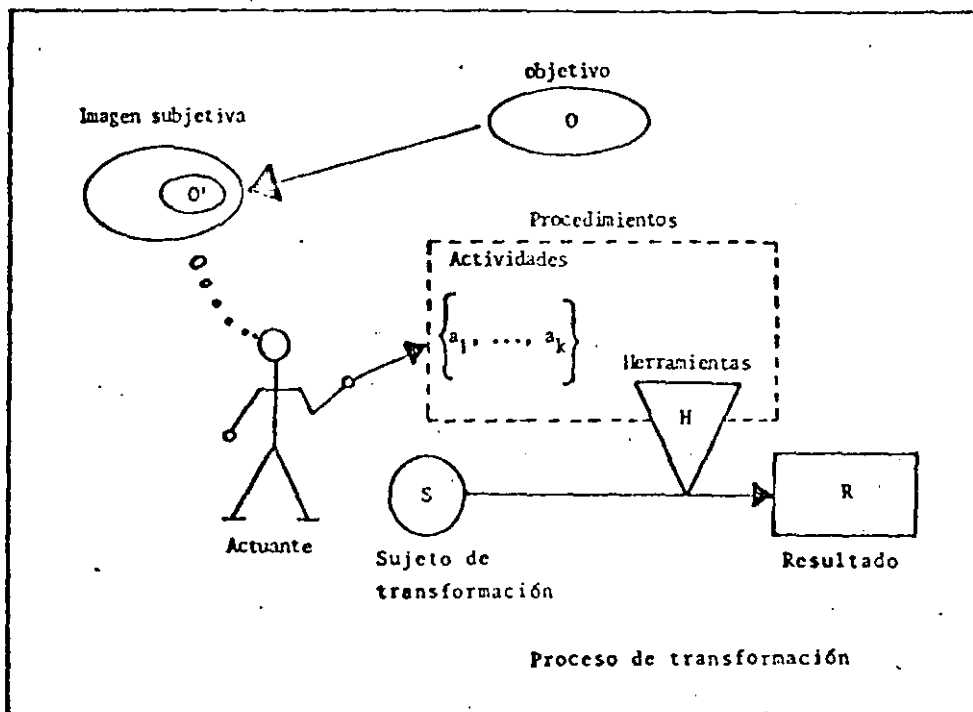


Fig 1 Paradigma de la actividad humana (primera aproximación)

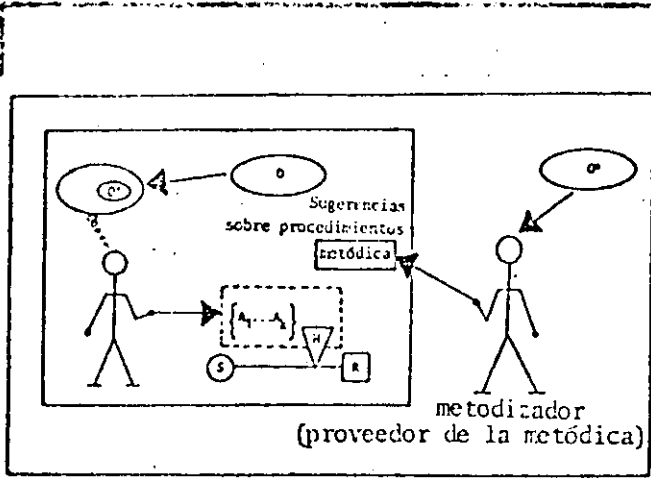


Fig 2 Papel del metodizador en el paradigma de la actividad humana

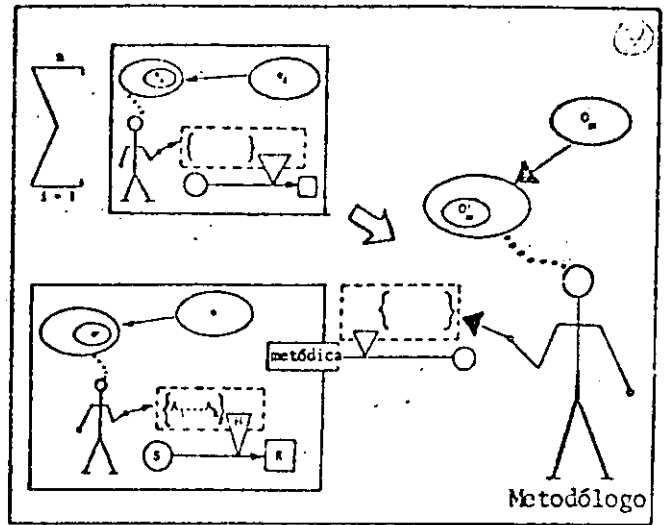


Fig 3 Papel del metodólogo en el paradigma de la actividad humana

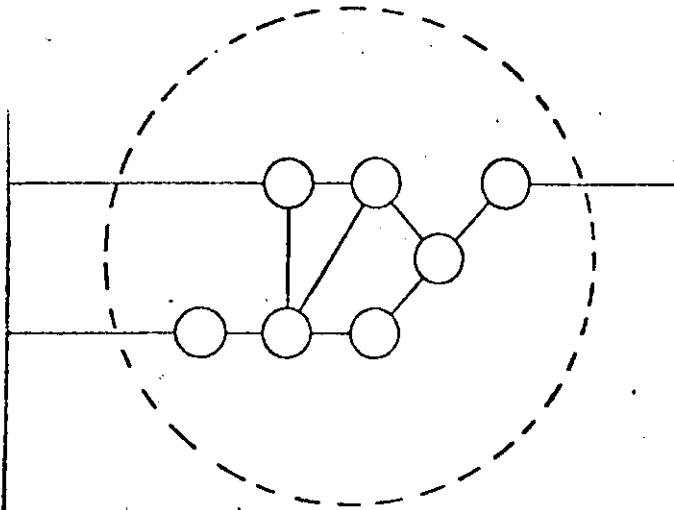


Fig 4 Representación "C" del sistema

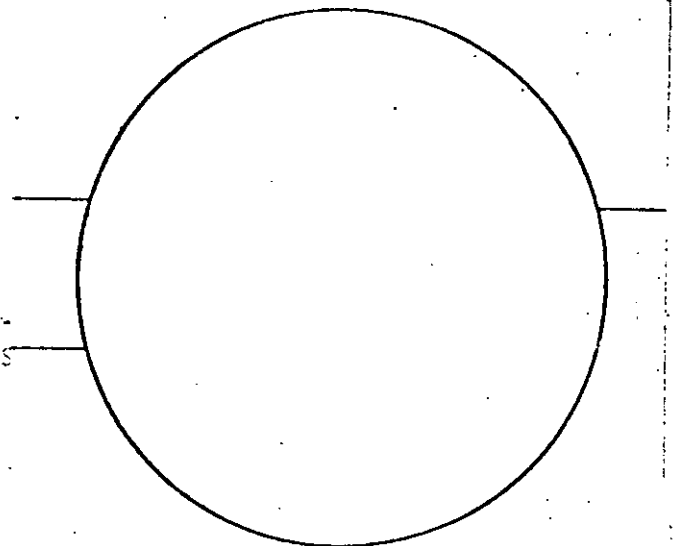


Fig 5 Representación "W" del sistema

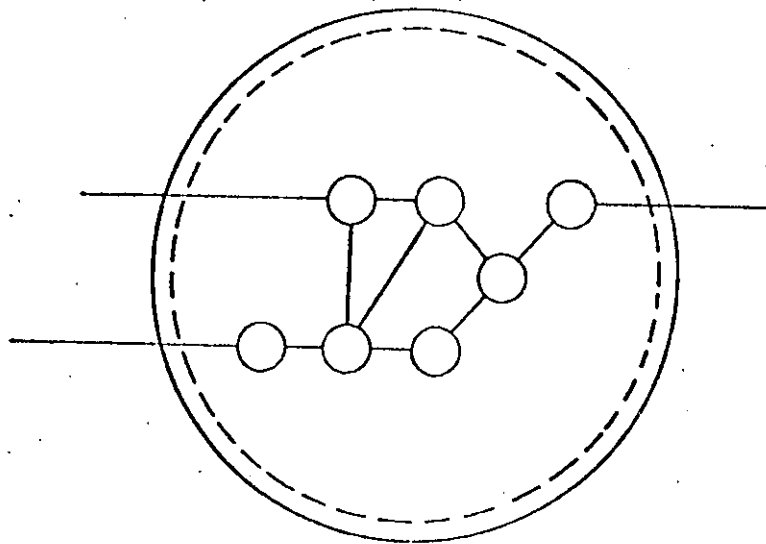


Fig 6 Configuración de las representaciones complementarias del sistema

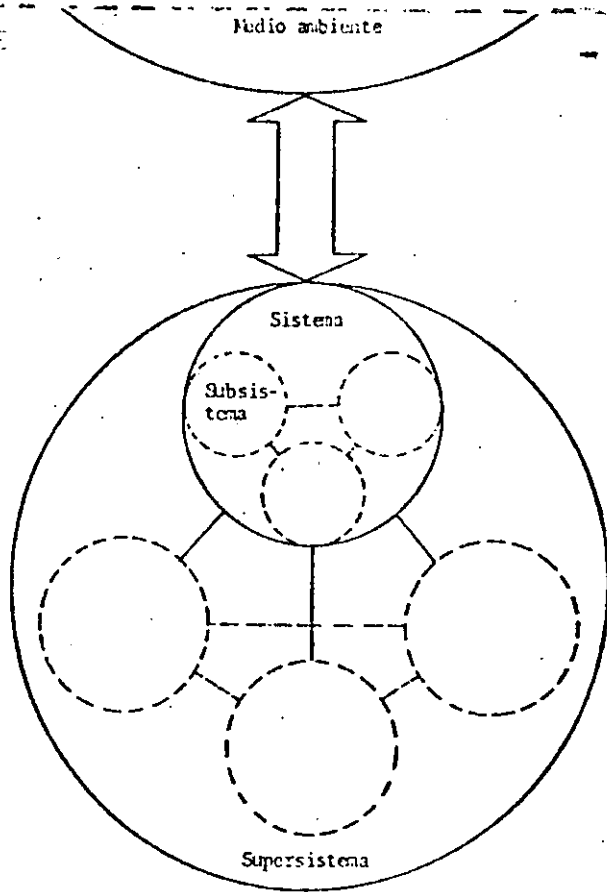


Fig 7 Paradigma de las relaciones entre subsistemas, sistemas, supersistema y medio ambiente

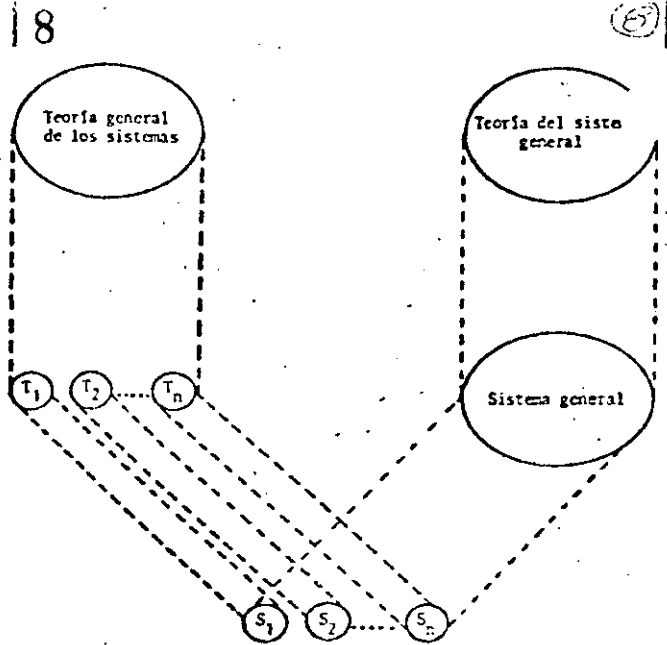


Fig 9 Paradigma para la construcción de dos diferentes conceptos: teoría general de los sistemas y teoría del sistema general

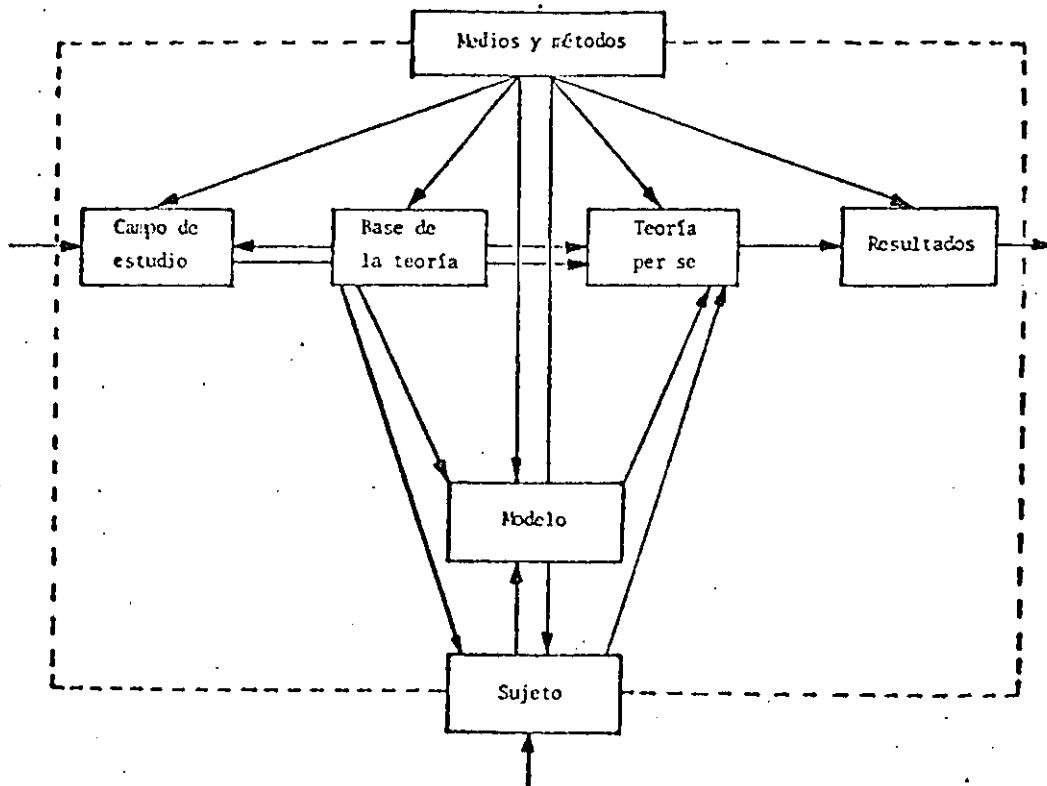
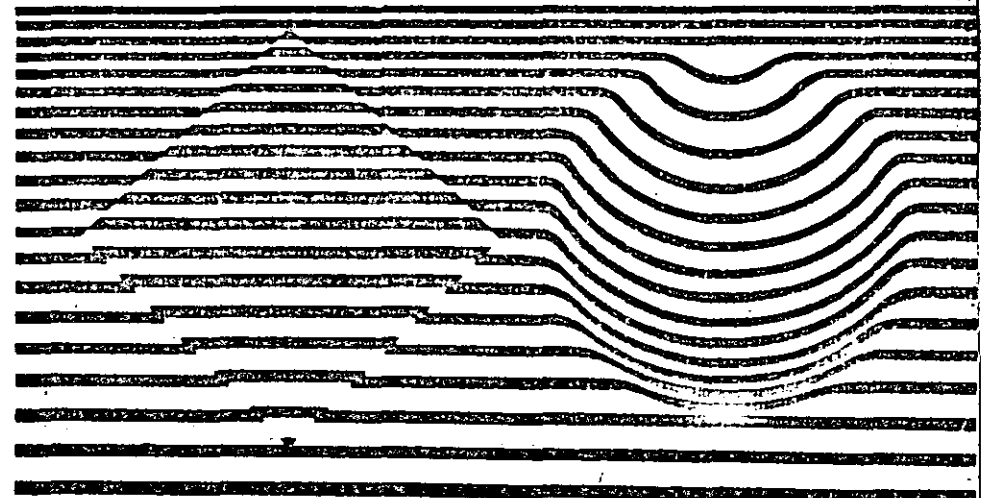


Fig 8 Diagrama de la estructura funcional de la teoría científica (primera aproximación)

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERIA

Revista



MR

VOL. 1 NUM. 4

JUNIO 1982

MEXICO

LA PLANEACION COMO UN PROCESO BASICO EN LA CONDUCCION*

O. GELMAN y G. NEGROE

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 México, D.F.

[Recibido febrero 26, 1982; en versión revisada, agosto 6, 1982].

Summary

Using the procedures developed under the systems approach, a general scheme of the planning process with four interrelated steps: diagnosis, prescription, instrumentation and control has been elaborated considering the role of the planning as a basic tool in the management process oriented to the directed social change.

Resumen

Usando los procedimientos desarrollados bajo el enfoque sistémico, se elabora un esquema general del proceso de planeación que consta de cuatro etapas interrelacionadas: diagnóstico, prescripción, instrumentación y control, al reconocer el papel de la planeación como herramienta básica dentro del proceso de conducción orientado al cambio social dirigido.

1. Introducción

Se ha reconocido y enfatizado la importancia de la toma de decisiones en el proceso de conducción, que constituye una de las funciones básicas de los organismos de la administración pública y privada. Sin embargo, el proceso de conducción no se reduce a la toma de decisiones, sino que debe considerarse como un sistema de diferentes procesos interrelacionados que se orientan, en su conjunto, a lograr los objetivos fundamentales de dichos organismos, entre los cuales destacan los de operación y crecimiento, así como los del desarrollo del sistema socioeconómico nacional.

* Se presentó y discutió en el Simposio sobre la planeación como proceso social, UAM- Iztapalapa, febrero 26, 1981.

La conceptualización del sistema de conducción y el análisis de los procesos que lo constituyen permiten especificar el papel importante que desempeña el proceso de planeación, dentro del de conducción, como herramienta fundamental en la toma de decisiones; dando un énfasis especial sobre el planteamiento y solución de problemas.

El enfoque sistémico que se desarrolla a través de dos procedimientos de construcción de sistemas: por composición y descomposición, constituye el marco conceptual del estudio y sirve como herramienta metodológica para conceptualizar una estructura general del proceso de planeación.

Es de esperar que el esquema elaborado del proceso de planeación facilite el desarrollo y la aplicación, en forma unificada, de la planeación en diversas áreas y constituya una guía heurística para utilizar la planeación como herramienta fundamental del proceso de conducción orientada a la solución de problemas reales. Además, permite ubicar, analizar y explicar los diferentes tipos de planeación para su comprensión en actividades académicas.

2. Enfoque Sistémico

La concepción de un organismo gubernamental como agente de cambio y desarrollo del sistema socioeconómico del país implica la necesidad de usar un enfoque sistémico para analizar las relaciones de *conducción** entre el organismo gubernamental, como sistema conducente, y su sistema focal u objeto conducido.

Un análisis del enfoque sistémico constituye una tarea especial y, para fines de este estudio, se presenta solamente el procedimiento de conceptualización de sistemas, que consiste de dos formas parciales y complementarias de construcción de un sistema: por composición y por descomposición [1]. El concepto *sistema general* se determina como un constructor que se obtiene con la composición de ambas representaciones.

* El concepto que en inglés se denota con el término management, no cuenta en español con una palabra que lo defina en su totalidad, sino que constituye un conjunto de significados que cubren aspectos tales como regulación, gobernación, manejo, administración, control, gerencia, conducción, dirección, mando, guía y los verbos timonear y regir; se ha considerado como apropiado el término de conducción, y se justifica en el análisis metodológico del proceso de construcción del concepto correspondiente.

2.1 Construcción por composición

Este procedimiento principia con los intentos iniciales de definir al sistema, que corresponden a las primeras etapas de elaboración del concepto, cuando se empieza a comprender que el conjunto de elementos seleccionados se encuentra organizado e interconectado en cierta totalidad gobernada por leyes comunes [1]. En una siguiente etapa se intenta construir el concepto al deducir las propiedades del sistema mediante el estudio de sus componentes básicas, su comportamiento y las relaciones que los vinculan. Con este procedimiento, que parte del elemento y busca llegar al sistema, se corre el riesgo de no comprender la naturaleza integral del mismo, esto es, de aquellos aspectos estipulados, por el papel que juega, en un sistema mayor denominado *suprasistema*. Este tipo de construcciones, el conjunto de elementos, los vínculos e interrelaciones, constituyen una de las nociones parciales del sistema (Fig. 1).

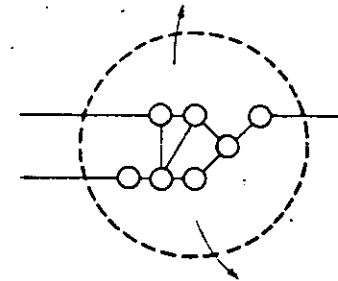


FIG. 1. Representación "compuesta" del sistema a través del proceso de construcción por composición

2.2 Construcción por descomposición

Este tipo de procedimiento se aproxima más al espíritu sistémico; corresponde a un movimiento cognoscitivo opuesto al de construcción anterior. Esto es, se parte del sistema hacia sus componentes, lo que constituye una forma típica de enfoque integral. Este procedimiento se basa en la descomposición funcional, que consiste en desmembrar un sistema en subsistemas, cuyas funciones y propiedades aseguren las del sistema en su conjunto, mediante una organización adecuada.

Esta construcción se realiza tomando en cuenta la estructura externa y la interna del sistema en consideración. La primera se establece por medio del papel que el sistema juega en su suprasistema, al definir los objetivos y funciones totales y determinar otros sistemas al mismo nivel. La estructura interna del sistema, en particular su estructura funcional, se obtiene al considerar un sistema como un agregado hipotético de subsistemas interconectados, de tal forma, que asegure su funcionamiento (Fig. 2). Este procedimiento se utiliza en el trabajo como base para seleccionar y establecer los subsistemas concretos y definir sus interrelaciones y funciones.

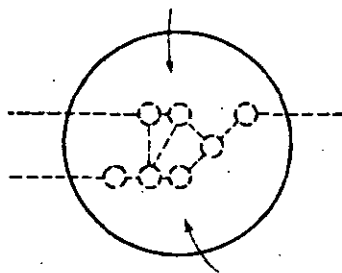


FIG. 2. Representación "entera" del sistema a través del uso del proceso de construcción por descomposición.

Los procedimientos mencionados conducen a una noción del sistema general. (Fig. 3).

3. Análisis del proceso de conducción

Con base en el procedimiento de construcción sistémica por descomposición, el proceso de conducción se manifiesta como la relación determinante entre los subsistemas conducentes y objeto conducido. Esta relación se visualiza a través del análisis y contraposición de dos paradigmas: *conducción correctiva* y *conducción planificada*.

La primera se estipula por las presiones del momento, trata de mantener al objeto conducido en un estado deseado y lograr su optimización local.

El otro tipo de conducción se presenta cuando se ha preestablecido un estado futuro deseado del objeto conducido, así como ciertos criterios para seleccionar y organizar las actividades adecuadas, en forma de proyectos y programas, que contribuyan al cambio del estado

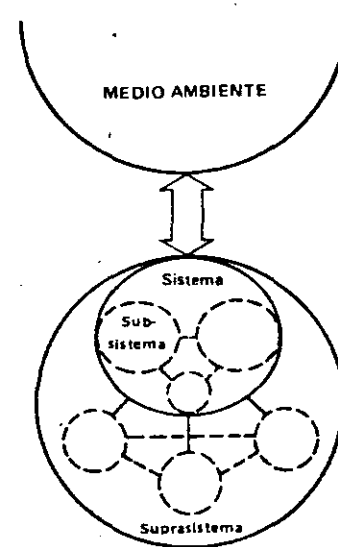


FIG. 3. Representación de las relaciones entre el suprasistema, sistemas y subsistemas, y el medio ambiente.

actual al deseado (Fig. 4).

En resumen, el concepto de conducción consiste en un proceso de cambio controlado (que incluye el caso de no cambio) del objeto conducido, según cierto objetivo, a través de actividades que lo garanticen, y sirve para seleccionar y realizar la trayectoria adecuada de cambio.

Con este marco de referencia, la planeación se considera una actividad adicional, que apoya al proceso de conducción; visualiza y especifica el objeto conducido, los objetivos de la conducción y las actividades que permiten realizar el cambio, de manera directa, a través de programas y proyectos, e indirecta, mediante criterios de selección contenidos en las políticas, las cuales son generales y, por esto, útiles al presentarse cambios imprevistos. Los elementos proporcionados por la planeación enriquecen el procedimiento de toma de decisiones del primer paradigma elaborado ya que brinda un marco conceptual, así como bases y criterios teóricos para ampliar la experiencia y tomar decisiones en forma no restringida, y prever y prevenir los problemas futuros o mitigarlos en caso de ocurrencia.

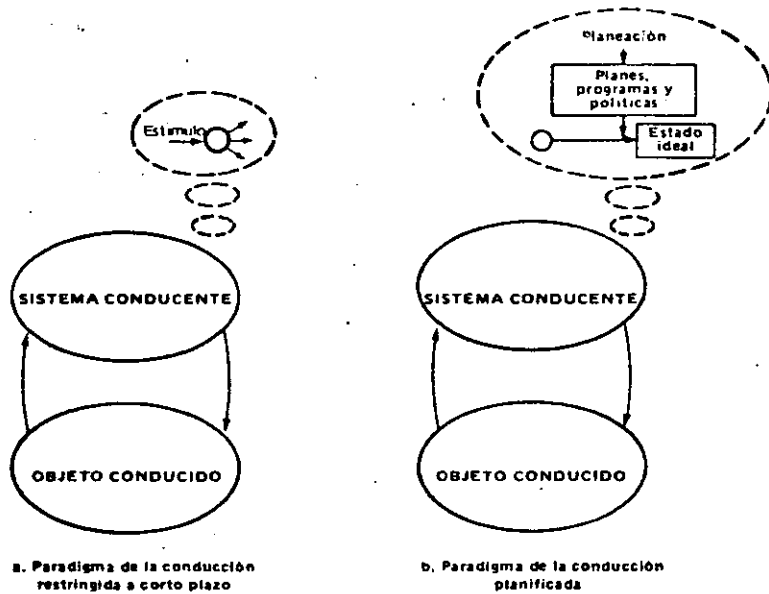


FIG. 4. PARADIGMAS DEL PROCESO DE CONDUCCION

4. Representación funcional del sistema conductor

Con base en el procedimiento de construcción por descomposición y en el análisis del proceso de conducción, se trata en este capítulo de especificar la estructura funcional del sistema conductor.

El subsistema fundamental es el de toma de decisiones, que se especifica en dos aspectos. El primero actúa según el momento presente y el futuro cercano; sus problemas son los que surgen en el tiempo. No se presentan los objetivos ni se toman en cuenta los orígenes y fines del sistema en forma explícita, sino que son considerados como dados a través de la experiencia e información con que cuenta el tomador de decisiones.

El segundo de los aspectos, que de alguna manera se desvincula de las acciones inmediatas que requiere el sistema; se orienta hacia la construcción de objetivos y su logro a largo plazo, tratando de obtener soluciones integrales. Este tipo de toma de decisiones debe basarse

en un proceso de previsión de actividades futuras y contar con un proceso de conducción, para lo cual se requiere identificar y evaluar los caminos desde un punto de vista de factibilidad en cuanto a la existencia de recursos, restricciones, etc. Se forma así una función básica denominada planeación, que apoya la toma de decisiones al proporcionar un marco de referencia y criterios para seleccionar soluciones inmediatas a los problemas presentados.

Para definir los demás subsistemas del sistema conductor es necesario analizar sus vínculos con el objeto conducido (Fig. 5).

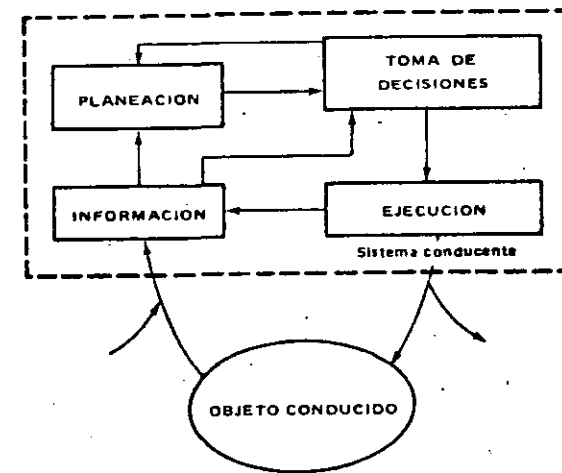


FIG. 5. REPRESENTACION FUNCIONAL DEL SISTEMA CONDUCTENTE

El primer vínculo, la información, permitirá al proceso de toma de decisiones y al de planeación conocer los elementos necesarios para desempeñar sus funciones. Es necesario en cualquier momento conocer el estado actual del objeto conducido, de manera que el conductor capte la información a través de indicadores relevantes que provengan no únicamente del objeto conducido, sino de otros sistemas vinculados; de modo que la toma de decisiones sea adecuada al medio en que funciona el sistema. Para la planeación se requiere adicionar la información del desarrollo del objeto conducido y la de otros subsistemas interrelacionados. La eficacia del proceso de toma de decisiones y de planeación depende de la información disponible en el

momento oportuno; de aquí la importancia de contar con un diseño conceptual del subsistema de información que permita captar, generar, seleccionar, transmitir, procesar y presentar la información. Este subsistema puede emplearse como retroalimentador del proceso de toma de decisiones al proporcionar la información sobre el estado actual del sistema, los resultados de las acciones ejecutadas y las condiciones de los sistemas exteriores.

El segundo vínculo entre el objeto conducido y el subsistema conducente es la ejecución de acciones como resultado del proceso de toma de decisiones.

5. Estructura del proceso de planeación

El análisis de los cuatro subsistemas fundamentales del sistema conducente muestra que es el de planeación el encargado de satisfacer al tomador de decisiones en sus necesidades de conocimiento e información, estipulando los datos que requiere.

Es frecuente que el proceso de planeación se confunda o sustituya con captación de información, así lo señalan muchos autores, entre ellos McLoughlin [2] al mencionar a Patrick Geddes, como profeta del movimiento de planeación, quien destacó la necesidad de información amplia y profunda para clasificar problemas y comprender el contexto en el que opera un plan. Se le interpretó de manera equivocada, a pesar de su preocupación manifiesta del diagnóstico antes que el remedio, entendimiento antes que acción, presentándose la tendencia a coleccionar información. Dicho autor menciona que la colección de información se transformó en un tratamiento ritual a pesar que muchos de los planes no requieren de grandes catálogos de información.

La literatura es abundante en ejemplos de sustitución del proceso de planeación por recopilación de datos y captación de información no relevante. Esto se explica por la falta de una estructura de planeación preestablecida. Es así que, al no tomar en cuenta la estructura del proceso de conducción y de planeación, ya sea por desconocimiento o por no presentarse de manera explícita, el resultado es tratar de captar toda la información disponible.

Uno de los objetivos de este estudio es el desarrollo de un esquema de la estructura de planeación general y representativo, tarea difícil dada la diversidad de tipos y estructuras descritas en la literatura.

Se planteó la posibilidad de seguir dos caminos distintos: uno fue el estudio de la literatura, detectando y describiendo diversos esquemas del proceso de planeación, para generalizarlos y construir uno general; sin embargo, estos esquemas no sólo no son comparables, sino incompatibles por la falta de un enfoque general, un marco conceptual, un paradigma, que los ubique e integre. El otro camino consistió en desarrollar un esquema general que explique la estructura del proceso de planeación y que, además, sirva como paradigma para visualizar, entender y clasificar los esquemas empíricos.

La construcción lógica del esquema requiere de herramientas metodológicas, habiéndose seleccionado el procedimiento de construcción por descomposición funcional; conforme el cual, el proceso de planeación se desglosa, a través del análisis de sus funciones básicas, en un sistema organizado de subprocesos, los que a su vez, de la misma forma, se descomponen en subprocesos en otro nivel y así sucesivamente. (Fig. 6).

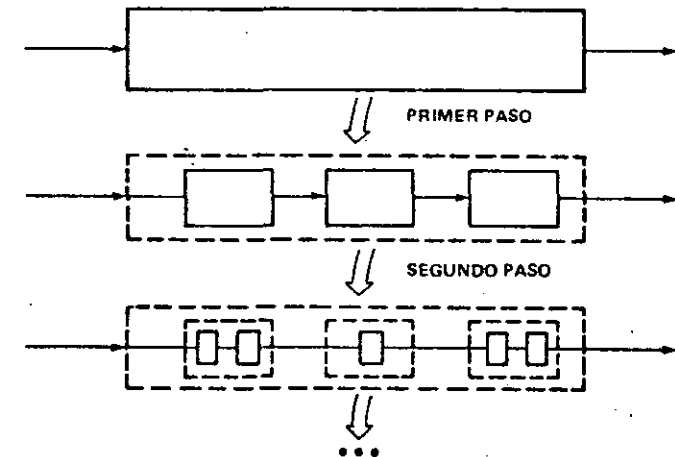


FIG. 6. ESQUEMA DEL USO DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN POR DESCOMPOSICIÓN

En la última década se ha enfatizado la importancia de la continuidad en el proceso de planeación que no termina con la producción de planes y sus elementos; por lo que hay que distinguir entre el procedimiento

y su producto. Esta postura se basa en la crítica a los planes rígidos y preestablecidos, ya que en el lapso en que se prepara e implanta un plan es posible surjan cambios en el entorno del proceso de planeación, esto es, en el sistema conducente, el objeto conducido o sus suprasistemas respectivos. Puede también darse el caso de que la información sea escasa o de mala calidad, y el cometer ciertos errores al tomar decisiones.

Por lo anterior, los planes y sus elementos no pueden prestablecerse sino que deben sujetarse a evaluación periódica para realizar cambios y ajustes adecuados. Esto es, los resultados de la implantación de algunos elementos del plan y el cambio producido en el sistema conducido se evalúan considerando los logros alcanzados de acuerdo con lo esperado del plan; de no ser así, se analizan las causas probables de discrepancia a fin de obtener y realizar los ajustes apropiados.

La necesidad de un subproceso de retroalimentación y adaptación, coincidente con la planeación adaptativa definida por Ackoff [3], se debe a que la planeación no se restringe a la producción de planes sino que incluye su implantación y revisión; es así que, en una primera fase del proceso de descomposición, el sistema planeación se descompone en cuatro subsistemas funcionales (Fig. 7).

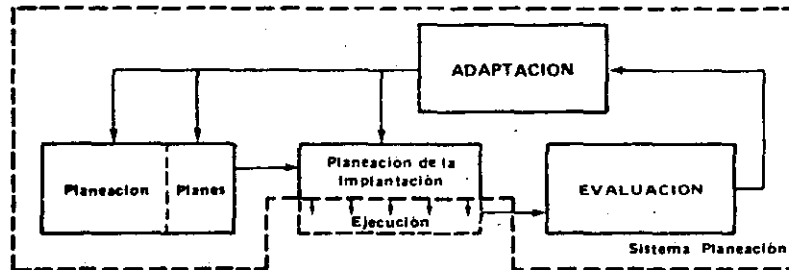


FIG. 7. ESTRUCTURA DEL PROCESO DE PLANEACION (PRIMER PASO)

El subsistema *planeación* tiene como objetivos producir los planes con sus elementos (objetivos, políticas, metas, programas y proyectos).

El subsistema *implantación* constituye una actividad básica tanto del proceso de planeación, como de conducción. Inclusive Maquiavelo mencionó que no tiene sentido ningún plan si no está prevista su implantación. Ackoff [3] también comenta que esta actividad consiste

en el diseño de los procedimientos para tomar decisiones y de su organización para realizar el plan. Esta actividad debe tener su mapeo en la ejecución del plan; por ello, la implantación se divide en dos aspectos: planeación de la ejecución y la ejecución propiamente dicha; el primero corresponde al proceso de planeación y el otro al de ejecución.

El subsistema *evaluación* de los resultados permite observar la eficiencia de los planes en su consecución de metas y objetivos, para realizar ajustes, cambios y adaptaciones que mejoren el proceso de planeación y de la conducción, constituyéndose así la función del subsistema *adaptación*.

En la literatura se ha definido la actividad de control como el procedimiento que permite prever o detectar los errores o fallas de un plan, y la forma de prevenirlos o corregirlos sobre una base de continuidad. Analizando este concepto se puede observar que los subsistemas de evaluación y adaptación se ajustan a la parte referida a la detección de errores o fallas de un plan; estos dos subsistemas y el de implantación, constituyen la etapa de control (Fig. 8).

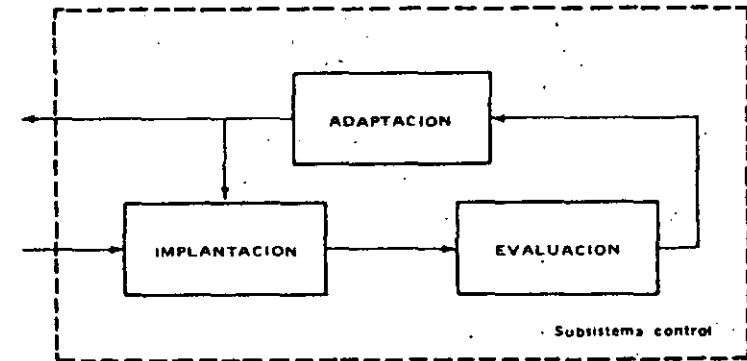


fig. 8. ESTRUCTURA DEL SUBSISTEMA CONTROL

El siguiente paso es la visualización del subsistema planeación, analizado con mayor detalle dada la importancia de sus productos. Algunos autores consideran que su desarrollo requiere de un proceso operativo que interprete ciertas soluciones de problemas del sistema objeto conducido y las transforme en planes; soluciones que serán alcanzadas en el futuro. Es así que al proceso de planeación se le considera como una herramienta de ayuda para resolver (aliviar) los

problemas planteados.

El subsistema planeación se ha descompuesto en tres etapas: planteamiento del problema o diagnóstico, solución del problema o prescripción, y su transformación en planes, esto es, la instrumentación de la solución (Fig. 9).

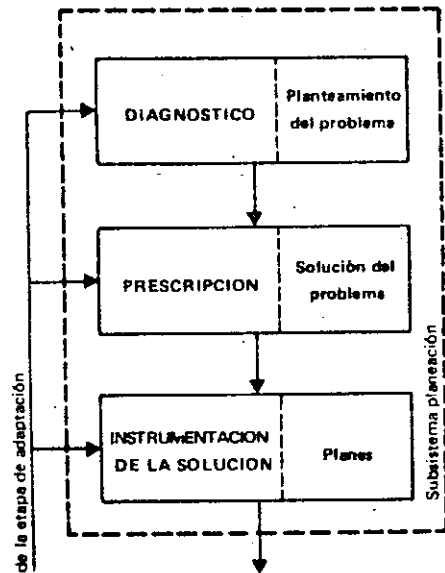


FIG. 9. ESTRUCTURA DEL SUBSISTEMA PLANEACION.

El diagnóstico trata de detectar, definir y plantear los problemas que se quieren resolver a través del proceso de conducción. Es posible identificar un problema reconociendo su origen en la desviación, impedimento o conflicto entre los diferentes objetivos del objeto conducido, esto es, entre los de su suprasistema, los del propio sistema y los de sus subsistemas. Al considerar el esquema de conducción en su totalidad, se detectan tres modos distintos de visualizar los problemas (Fig. 10); uno de ellos de tipo interno, producido por la organización del proceso de conducción, esto es, por las relaciones entre el sistema conducente y el objeto conducido (I); y los otros dos externos, uno de los cuales es debido a la relación del objeto conducido

con su suprasistema¹, con sus subsistemas y con otros objetos (II), y el otro por las relaciones entre el sistema conducente con su suprasistema y con otros sistemas conducentes (III). Es necesario destacar la importancia de definir al objeto conducido como sistema, esto es, visualizarlo como parte del suprasistema, relacionado con otros objetos, así como especificar sus subsistemas. Además, es importante su estudio para conocer sus estados anteriores y actual, cuya comparación con su estado normativo permite detectar y evaluar discrepancias y analizar sus causas. Además, con un análisis de las causas de las posibles discrepancias futuras entre los pronósticos de los estados del sistema y su estado deseado, es posible identificar y plantear los problemas actuales y futuros. Estas actividades que constituyen la etapa del diagnóstico se presentan en la Fig. 11.

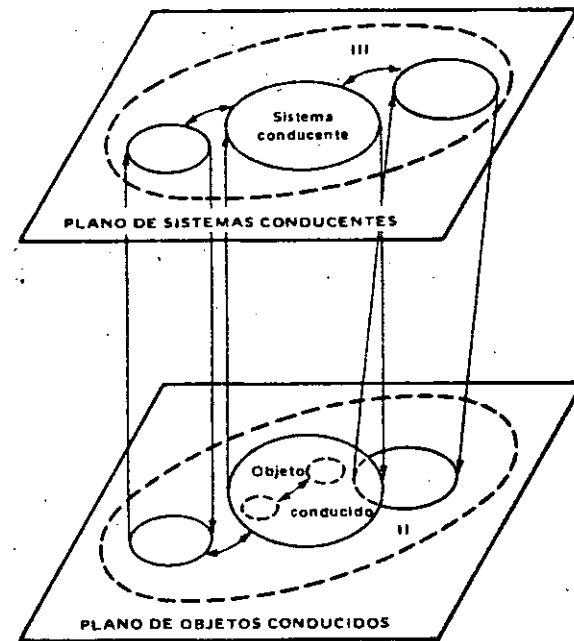


FIG. 10. PARADIGMA PARA LA IDENTIFICACION DE TRES CLASES DE PROBLEMAS

¹ En cierta forma, se trata de problemas derivados de las relaciones entre la oferta y la demanda en diversos niveles.

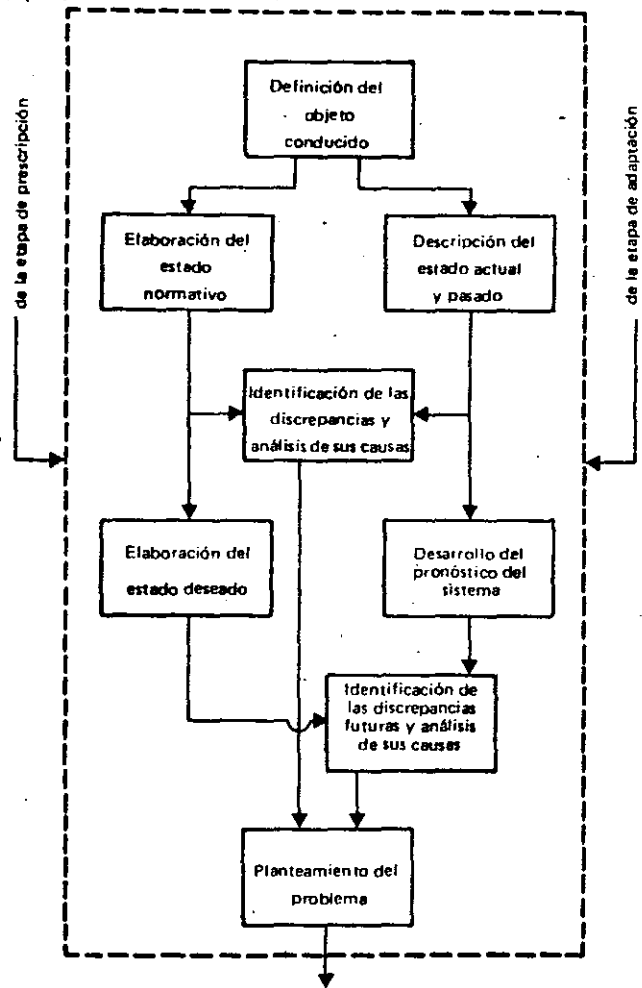


FIG. 11. ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE LA ETAPA DE DIAGNOSTICO

La etapa de prescripción trata de dar solución al problema planteado mediante el análisis de distintas alternativas factibles (con sus restricciones o limitaciones) para lograr un estado deseado (Fig. 12). Puede descomponerse en cuatro partes:

- Construcción de modelos¹ para obtener y simular la solución del problema, así como para desarrollar en el diagnóstico el pronóstico del sistema.
- Definición de las distintas restricciones y formulación de criterios.
- Búsqueda de soluciones.
- Evaluación de las alternativas, a través de las diferentes técnicas de optimización y modelado, para seleccionar las factibles y mejorar según los criterios desarrollados.

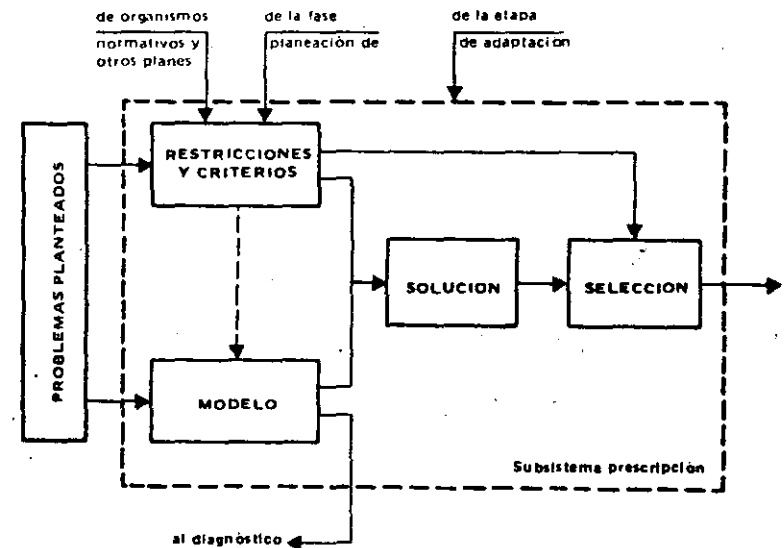


FIG. 12. ESTRUCTURA DE LA ETAPA PRESCRIPCION

¹ Es importante mencionar que la naturaleza del modelo depende del tipo de problema planteado, siendo necesario tomar en cuenta la disponibilidad de la información e incluir el método que diseñe el sistema de proporcionamiento de datos. Se distinguen los siguientes tipos de modelos: los descriptivos de la situación en cierto instante del tiempo, los predictivos de los estados futuros, y los prescriptivos, que generan estados futuros deseados del sistema.

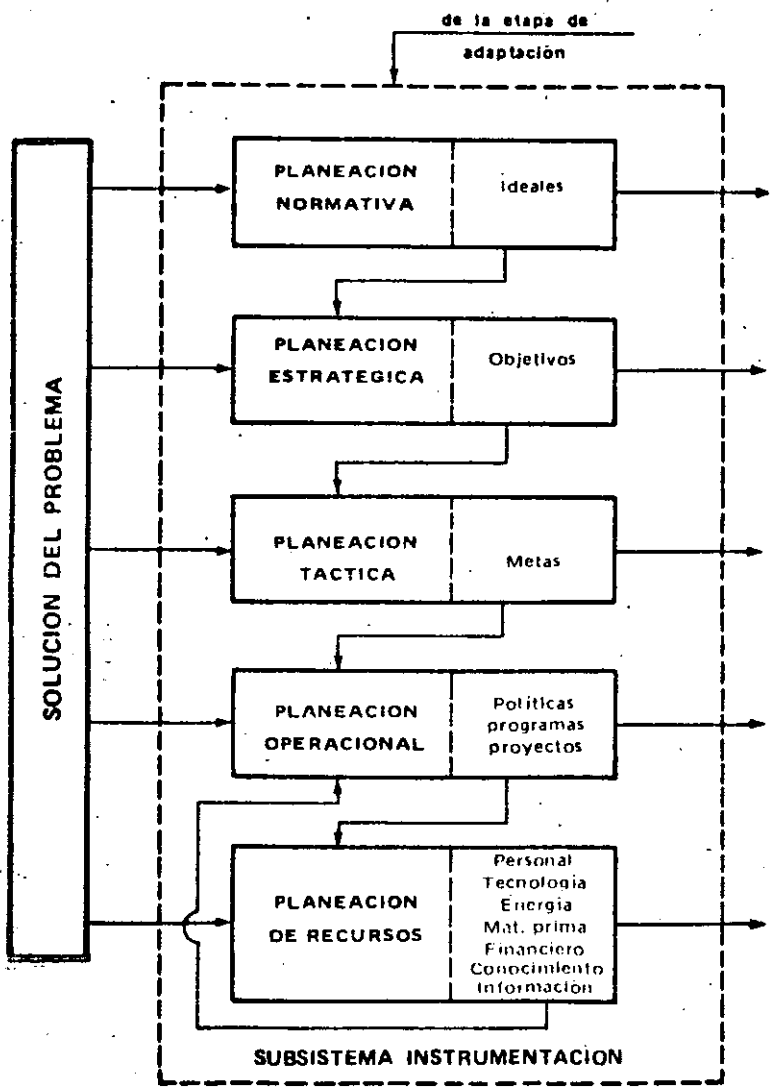


FIG. 13. ESTRUCTURA DE LA ETAPA DE INSTRUMENTACION DE LA SOLUCION

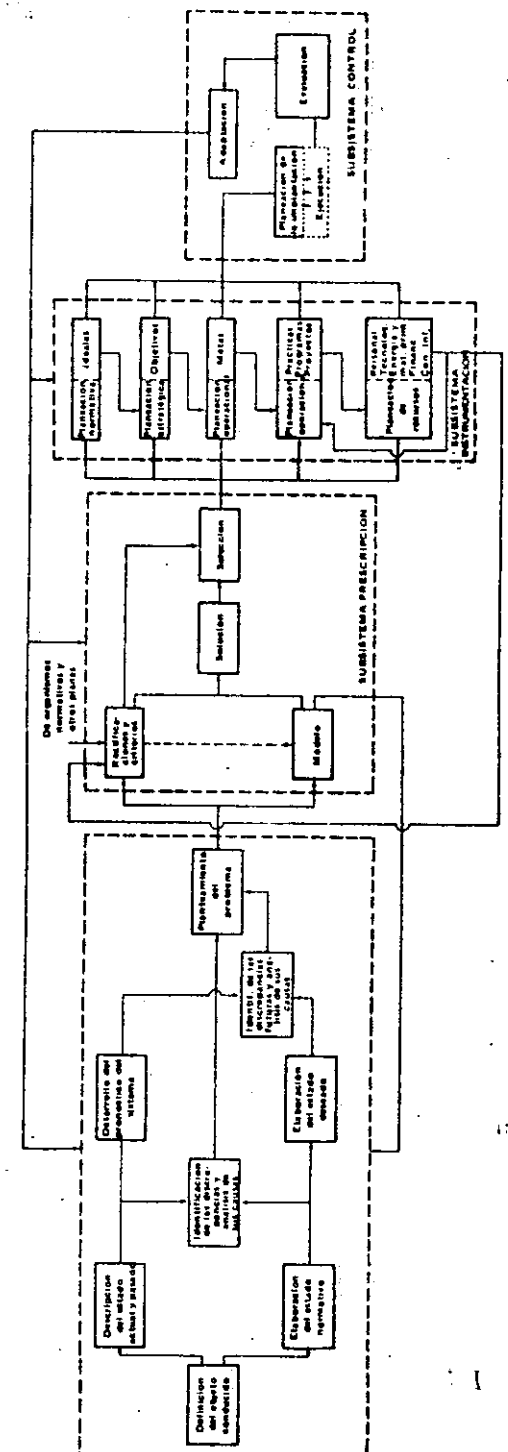


FIGURA 14. ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE PLANEACION

La función básica de la tercera etapa: instrumentación de la solución, trata de formular los objetivos a lograr, de manera explícita, así como las políticas y programas, tomando en cuenta la asignación de los recursos. Para la definición de metas y formulación de programas, Ackoff [3] señala que los elementos de la planeación se establezcan en forma jerárquica, mediante una planeación adecuada, esto es, los ideales por medio de la normativa, los objetivos por la estratégica, las metas por la táctica, los medios por la operacional, y por último, los recursos; interrelacionados todos a niveles diferentes (Fig. 13).

Al integrar las distintas etapas (Figs. 8, 9, 11, 12, 13) se enfatiza que el proceso de planeación no es lineal, sino que las interrelaciona en su desarrollo, produciendo ciclos (Fig. 14).

6. Referencias

1. Gelman, O., Metodología de la ciencia e ingeniería de sistemas: algunos problemas, resultados y perspectivas. Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Mérida, Yuc., (1978).
2. Mc. Loughlin, J.B., *Urban and Regional Planning. A System Approach*, Faber and Faber, Londres, (1969).
3. Ackoff, R.L., *Un concepto de planeación de empresas*, Ed. Limusa, México, (1980).

BOLETIN

instituto mexicano de planeación y operación de sistemas

- **Papel de la Planeación en el
Proceso de Conducción**

Ovsei Gelman
Gonzalo Negroe

- **Análisis Multiobjetivo para la
Selección de Obras de
Infraestructura para el
Transporte Terrestre**

Juan M. Anchondo Adalid

18

año XI

enero-febrero-marzo 1981

méxico, d.f.

número 61

DIRECTOR**Sergio Zúñiga Barrera**

BOLETIN, Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas. Autorizado como correspondencia de 2a. clase por la Dirección General de Correos con oficio Num.2151.605. Expediente: 091.70/992 Fecha: 5 de enero de 1973 Num. de control: 1560 año XI. Num.61, Marzo de 1981. Publicación Trimestral.

Para correspondencia e información dirigirse al apdo. postal 27-048 México 7, D.F.

SUS ENVIOS LLEGARAN MAS RAPIDO UTILIZANDO EL SERVICIO POSTAL AEREO

Insurgentes Sur 586-402**México 12, D. F.**

PAPEL DE LA PLANEACION EN EL PROCESO DE CONDUCCION

Ovsei Gelman*
Gonzalo Negroe**

ra

1. INTRODUCCION

Los organismos gubernamentales tienen entre otras tareas supervisar algunos subsistemas del sistema socioeconómico nacional mediante procesos de toma de decisiones. El comportamiento apropiado de tales subsistemas dependerá de las acciones implantadas.

En este trabajo se estudia el proceso de toma de decisiones como parte de la conducción, se define el proceso de conducción, se especifica su estructura y se visualiza la planeación como su herramienta fundamental; además se analiza la importancia de los aspectos epistemológicos para el planteamiento de problemas y la definición de objetos conducidos.

- * Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM,
Asesor del Centro de Investigación Prospectiva, Fundación Javier Barros Sierra, A.C.
- ** Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM

D. F.

2. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL USO DEL ENFOQUE SISTEMICO

Los organismos gubernamentales se conceptualizan a través del enfoque sistémico como sistemas conducentes que contribuyen al logro de los objetivos del país: es decir, como agentes de cambio y desarrollo del sistema socioeconómico. Este enfoque permite plantear y solucionar problemas complejos, ya que trata de estudiar los sistemas como una entidad de manera congruente con las tendencias científicas actuales de no aislar fenómenos, sino de examinarlos en su interacción. El enfoque sistémico permite ver los problemas como un todo y se interesa por el desempeño total del sistema, ya que ciertas propiedades únicamente pueden ser tratadas desde un punto de vista holístico.

Para conceptualizar un sistema es importante contar con un proceso explícito de su construcción y no únicamente con una definición descriptiva; es por esto que se especifican dos tipos básicos de procedimientos de construcción sistémica: por composición y por descomposición.

- El procedimiento de construcción sistémica por composición se inicia al empezar a comprender que un conjunto de elementos está organizado e interconectado en una totalidad gobernada por leyes comunes; sus propiedades tratan de deducirse a través del estudio de sus componentes básicas y las relaciones que los vinculan. Con este procedimiento se corre el riesgo de no comprender la naturaleza integral del sistema, por ejemplo, aquellos aspectos estipulados por su papel en su suprasistema.
- El procedimiento de construcción sistémica por descomposición se aproxima más al espíritu sistémico; parte del sistema hacia sus componentes con base en la descomposición funcional utilizada en cibernética; consiste en desmembrar el sistema en subsistemas cuyas funciones y propiedades aseguren las del sistema en su totalidad. En este proceso se toma en cuenta la estructura externa e interna del sistema en consideración; la primera mediante la identificación de las relaciones con otros sistemas en su suprasistema, y la interna presentando al sistema como un agregado hipotético de subsistemas funcionales, interconectados en tal forma que se asegure el funcionamiento del sistema dentro de su suprasistema.

Este último proceso se utiliza en el trabajo para establecer los subsistemas y definir sus interrelaciones y funciones.

3. ANALISIS DEL PROCESO DE CONDUCCION

En general, el proceso de conducción se entiende como una toma de decisiones orientada con-

cientemente hacia un objetivo. Al respecto, Morris define un proceso de conducción para situaciones en las que es necesario tomar decisiones inmediatamente, aprovechando la experiencia adquirida y estudios realizados a corto plazo. En su análisis presenta una estructura general de actividades que se inician con la aparición de estímulos que alertan y presionan al conducente a tomar una decisión sobre determinadas situaciones; el conducente conceptualiza el problema y trata de solucionarlo con base en su experiencia subjetiva e información disponible. Si el problema no se resuelve, se inicia un proceso adicional de búsqueda de nuevas alternativas; otra actividad consiste en la captación de información adicional, y un tercer ciclo trata de revisar los criterios de evaluación del riesgo de toma de decisiones.

Los tres ciclos mencionados se realizan en un plazo corto y permiten al conducente tomar una decisión iterativamente (fig. 1); sin embargo, no estará seguro de haber considerado todas las variantes por encontrarse sometido a presiones de tiempo y de recursos. La decisión se toma y ejecuta a pesar de las incertidumbres en el planteamiento del problema y su solución. En este proceso se detecta la influencia de una postura empirista y positivista dado el énfasis en el uso de la experiencia y la carencia de actividades teóricas. La falta de un marco teórico dificulta el planteamiento del problema, la búsqueda de la solución y el establecimiento de criterios que permitan evaluar y seleccionar decisiones.

El proceso de toma de decisiones necesita de políticas que sirvan como criterios para seleccionar acciones que produzcan los cambios deseados en el sistema a mediano y largo plazos; requiere además de un proceso que establezca objetivos y metas, así como los programas de actividades para alcanzarlos.

De este análisis resulta la necesidad de desarrollar dos paradigmas del concepto de conducción (fig. 2). En uno de ellos, el objetivo de la conducción consiste en mantener el sistema conducido en un estado determinado o mejorarlo localmente (caso descrito por Morris); en el otro se preestablece un estado futuro deseado del objeto conducido y los criterios que permitan seleccionar y organizar las actividades que contribuyen para su logro.

Resumiendo, la conducción se define como un proceso de cambio controlado (que incluye el caso de no cambio) del objeto conducido según cierto objetivo a través de actividades que lo garanticen; es decir, sirve para seleccionar y realizar la trayectoria adecuada de cambio.

4. REPRESENTACION FUNCIONAL DEL SISTEMA CONDUCTENTE

El análisis del proceso de conducción permite establecer la representación funcional del sistema conducente (fig. 3). El subsistema toma de decisiones se especifica en dos aspectos: uno que actúa según el momento presente y futuro cercano, basándose en la experiencia e información del conducente, logrando así soluciones locales y temporales; el otro aspecto está orientado hacia la construcción de objetivos y su logro a largo plazo, de manera que se obtengan soluciones integrales. El subsistema planeación apoya la toma de decisiones pues visualiza y especifica el objeto conducido, define los objetivos de la conducción así como las políticas y programas para

alcanzarlos. El tercer subsistema proporciona información a los procesos de toma de decisiones y planeación, facilitando el desempeño de sus funciones. El último subsistema se encarga de la ejecución de acciones, que resultan del proceso de toma de decisiones, para conducir el sistema hacia cierto estado.

5. PROCESO DE SOLUCION DE PROBLEMAS Y SU PLANTEAMIENTO

En el área de la investigación de operaciones y de la administración se acostumbra tratar el proceso de conducción como un problema de toma de decisiones al seleccionar de entre un conjunto de acciones alternativas la más adecuada, con base en la evaluación de los beneficios esperados de dichas acciones. De esta manera, los problemas reales se reducen a la selección de acciones a fin de optimar una función, lo que produce soluciones simplificadas. Estas soluciones, en la mayoría de los casos no dejan de ser más que ejercicios académicos, lo que ocasiona que los responsables del proceso de conducción eviten implantarlas.

Es posible especificar algunas causas que originan dicha situación:

- Se condiciona la identificación y formulación de los problemas por las técnicas y herramientas con que cuentan los especialistas en los campos mencionados.
- Se emplean algunos modelos matemáticos comunes en vez de elaborar otros más adecuados.
- Se recomienda al conducente, con base en el análisis, construcción del modelo y su solución, tórnense las siguientes acciones...; sin darle la oportunidad de considerar factores adicionales u opcionales.

La ineficacia de estos campos dio origen a un nuevo enfoque denominado proceso científico de administración, en el cual grupos formados por especialistas en investigación de operaciones y administración observan y analizan la forma en que toman decisiones los responsables de la conducción, tratando de encontrar patrones generales. Es posible observar, en un análisis preliminar, cierta debilidad del enfoque al considerar que el conducente conoce el problema y como solucionarlo.

Dado que los campos de investigación de operaciones y de administración no plantean los problemas reales, sino sólo los factibles de resolver, y en el caso del proceso científico de administración se tratan de identificarlos a través del estudio de tomas de decisiones particulares del conducente, se considera importante analizar el procedimiento de conceptualización de los problemas como una etapa fundamental para su solución.

Sin embargo, el planteamiento de los problemas reales se ha dificultado por falta de estudios

que permitan definir el concepto problema. Al respecto, Ackoff menciona que los problemas no existen, sino que tan sólo son producto de nuestra imaginación, y que si ellos existieran no tendrían solución; James y Dewey a su vez consideran que los problemas se buscan, que no están dados al tomador de decisiones, que se extraen de estados no estructurados de confusión, problemática; Granam señala que los problemas no existen objetivamente, sino que constituyen un constructo conceptual que cambia según el conducente. El análisis de las ideas de Ackoff muestra un esquema epistemológico que diferencia dos niveles, uno de los cuales es real, el de la problemática, y el otro abstracto, el del planteamiento de problemas (fig. 4).

La consideración de problemas como constructos subjetivos y abstractos no implica la necesidad de negar su estatus ontológico, esto es, su existencia real. La interpretación de la problemática como la representación de fenómenos y manifestaciones de ciertas causas y relaciones profundas permite distinguir dos tipos de problemas: los reales, que existen y se presentan como problemática, y los configurados a través del análisis de dicha problemática (fig. 5). Esta postura concuerda con la idea de Graham al considerar que el planteamiento del problema necesita un proceso de diseño, y no restringirse únicamente a la abstracción de algunas características de la problemática.

Lo anterior implica contar con dos tipos de estudios: uno empírico, que describa la problemática, y el otro teórico, para conceptualizar los sistemas involucrados a fin de interpretar la problemática e identificar los problemas que la originan. Como se mencionó, para visualizar estos sistemas se define el papel del sistema en su suprasistema y el de los subsistemas en los que es factible descomponerlo. Estos papeles se interpretan como objetivos que debe cumplir el sistema.

Se distinguen tres clases de objetivos: los que el suprasistema impone al sistema, los propios del sistema, y los que sus subsistemas asignan al sistema. El conflicto entre estos, y los impedimentos para su logro originan los problemas.

Es así que el proceso de planteamiento del problema consiste de dos etapas:

- Estudio teórico del sistema, definiendo objetivos, funciones y conflictos.
- Estudio empírico de la problemática mediante la observación y descripción de manifestaciones, dificultades y confusiones.

Estas etapas, en su desarrollo, se apoyan entre sí de manera iterativa.

6. ESTRUCTURA DEL PROCESO DE PLANEACION

Uno de los objetivos del proceso de conducción es la realización del cambio. El tipo y forma de

conseguirlo lo especifica la planeación al establecer los objetivos del proceso de conducción, principios y políticas que le permitan seleccionar acciones en forma de proyectos y programas para la transformación del objeto conducido bajo ciertos criterios y restricciones. Es así que se trata de una actividad humana organizada que prevé las consecuencias de toma de decisiones durante el proceso de conducción.

El proceso de planeación ha sido sustituido frecuentemente con la captación de información. Patrick Geddes, iniciador del movimiento de planeación, destacó la necesidad de una información amplia y profunda que permita identificar problemas y comprender el contexto en el que opera un plan, lo cual se interpretó de manera equivocada al tratar de captar toda la información disponible, a pesar de su preocupación por el diagnóstico antes que el remedio, entendimiento antes que acción. Esta manera de conseguir información se debe, en general, a la falta de una estructura de planeación explícita.

La formulación de la estructura del proceso de planeación constituye una tarea complicada. En la literatura se presentan algunos esquemas parciales, incompatibles y empíricos. La carencia de un enfoque general dificulta su integración, por lo que fue necesario desarrollar un esquema general, que además permita visualizar, entender y clasificar los empíricos.

Con base en el análisis de las funciones básicas, el proceso de planeación se desglosa en subprocesos, los cuales a su vez se descomponen en subprocesos a otro nivel, y así sucesivamente.

En una primera fase, el sistema de planeación es posible descomponerlo en cuatro subsistemas funcionales (fig. 6):

- La planeación tiene como objetivo la producción de planes con sus elementos (objetivos, políticas, metas, programas y proyectos).
- La implantación constituye una actividad básica tanto del proceso de planeación como de conducción, y consiste en la planeación de la ejecución de los programas.
- La evaluación de resultados permite estimar la eficiencia de los planes en su consecución de metas y objetivos.
- La adaptación consiste en la realización de los ajustes y cambios de los procesos de planeación y conducción mediante la retroalimentación a los otros subsistemas.

El siguiente paso es la visualización del subsistema planeación. Se descompone en tres etapas (fig. 7): diagnóstico, prescripción e instrumentación de la solución.

El diagnóstico trata de detectar, definir y plantear los problemas a resolver por medio del proceso de conducción, siendo posible detectar tres modos de visualizar los problemas (fig. 8); uno de ellos, de tipo interno, producido por la organización del proceso de conducción (I); esto es, por las relaciones entre el sistema conducente y el objeto conducido. Los otros dos son externos, uno de ellos debido a las relaciones del objeto conducido en su suprasistema (II), y el otro por las relaciones del sistema conducente en su suprasistema (III). El estudio del objeto conducido hace factible conocer su estado anterior y actual cuya comparación con su estado normativo permite detectar y evaluar las discrepancias y analizar sus causas; con el análisis de las causas de posibles futuras discrepancias entre el pronóstico del sistema y su estado deseado se logra identificar y plantear problemas actuales y futuros.

La prescripción trata de dar solución al problema planteado mediante el análisis de alternativas factibles (con sus restricciones) para alcanzar un estado deseado; se ha descompuesto en cuatro fases:

- Construcción de modelos, que permiten obtener y simular la solución al problema.
- Definición de restricciones y formulación de criterios.
- Búsqueda de la solución adecuada.
- Evaluación de alternativas a través de la simulación a fin de seleccionar las factibles y mejores según los criterios establecidos.

La última de las etapas, instrumentación de la solución, trata de formular, de manera explícita, los objetivos de la conducción, las políticas y los programas de actividades, tomando en cuenta la asignación de recursos. Para definir metas y formular programas, los elementos de la planeación se establecen jerárquicamente conforme una planeación adecuada (normativa, estratégica, táctica, operacional y de recursos).

Estas etapas del proceso de planeación se interrelacionan en su desarrollo entre sí, produciendo ciclos.

7. DEFINICION DEL OBJETO CONDUcido

Del análisis del proceso de planeación se detecta la importancia de definir el objeto conducido, ya que estipula su contenido y desarrollo. Algunos autores (Ackoff, Chadwich, Mc Loughlin) han destacado la necesidad de describir, analizar y explicar dicho objeto; no tomarlo en cuenta o partir del supuesto que se da de manera implícita y es bien conocido produce trastornos a los procesos de conducción y planeación, puesto que puede ser deformado o sustituido.

El objeto conducido es heterogéneo y complejo, no se presenta aislado y simple; además, como es dinámico, en su desarrollo histórico tiende a aumentar su complejidad. La evolución histórica del Gobierno y la diferenciación de sus funciones ha dado lugar a descomponer la sociedad en distintos sistemas, objetos de conducción, de los que se encargan diversos organismos gubernamentales.

Para identificar los objetos conducidos deben analizarse las responsabilidades y atribuciones de los sistemas conducentes, tomando en cuenta la estructura jerárquica de dichos objetos conducidos.

La definición del objeto conducido consiste en conocer el papel que juega en otro más amplio,

sus relaciones funcionales y estructurales con otros objetos del mismo nivel, así como analizar sus objetos parciales con sus funciones y estructura.

Es importante anotar que una vez conceptualizado y definido el objetivo conducido, a través de la representación de la realidad, será sujeto de análisis mediante modelos contruidos por un proceso de sustitución, dada su complejidad y razones económicas, sociales y humanas.

8. RESUMEN

El proceso de conducción se visualizó y conceptualizó mediante el análisis de dos paradigmas: conducción correctiva, estipulada por las presiones del momento, cuyo objetivo es la optimización local; y conducción planificada, orientada y organizada para lograr un estado deseado preestablecido.

El proceso de conducción de los organismos gubernamentales se definió como un proceso de cambio controlado del objeto conducido a través de actividades que lo garanticen, o sea que sirve para seleccionar y realizar, de acuerdo con algunos criterios, la trayectoria adecuada de cambio. Su análisis permitió establecer cuatro subsistemas esenciales: toma de decisiones, planeación, información y ejecución, y mostrar que el proceso de planeación constituye una herramienta fundamental de apoyo al de conducción, que visualiza y especifica el objeto conducido, los objetivos de la conducción y las actividades que permiten realizar el cambio.

Se desarrolló un esquema general del proceso de planeación, definiendo sus etapas básicas: diagnóstico, que plantea los problemas actuales y futuros; prescripción, que busca y selecciona una de las soluciones; instrumentación de la solución, que la transforma en actividades que garanticen su logro; y control, que implanta los programas evaluando sus resultados a fin de realizar ajustes y adaptaciones que mejoren el proceso de conducción.

Se destaca la importancia de la definición y modelado del objeto conducido como un sistema visualizado como parte de un suprasistema, a su vez compuesto por un conjunto de subsistemas.

En el desarrollo del trabajo se muestran aspectos importantes como el establecimiento de dos procedimientos de construcción sistémica, planteamiento de la estructura del proceso de conducción, análisis de las limitaciones de la teoría de toma de decisiones, planteamiento de la estructura del proceso de planeación, además de la construcción de paradigmas que permiten visualizar los sistemas conducente y objeto conducido, y plantear los problemas reales.

BIBLIOGRAFIA

1. Ackoff R L, Towards a system of systems concepts, Management Science, Vol. 17, No. 11, 1971
2. Ackoff R L, Beyond problem solving, General Systems Yearbook, Vol. XIX, 1974
3. Ackoff R L, The aging of a young profession: operations research, University of Pennsylvania, 1976
4. Ackoff R L, The corporate rain dance, the Wharton Magazine, Winter 1977
5. Ackoff R L, Un concepto de planeación de empresas, Ed. Limusa, México, 1980
6. Ackoff R L, et al, Scatt Report, Designing a national scientific and technological communication systems, University of Pennsylvania Press, 1976
7. Beer S, Cybernetics and management, John Wiley and Sons, New York, 1959
8. Chadwick G F, Una visión sistémica del planeamiento, Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1973
9. Churchman C W, A critique of the systems approach to social organization systems concepts, Lectures on Contemporary Approaches to Systems, Miles Ralph F Jr, Wiley and Sons, 1973
10. Churchman C W, Perspectives of the systems approach, Interfaces, Vol. 4, No. 4, August 1974.

11. Gelman O, Formalization of mathematical modelling processes as one of the ways of building the general systems theory, Problems of Logic and Methodology of General Systems Theory, Tbilisi, 1967
12. Gelman O, Metodología de la ciencia e ingeniería de sistemas: algunos problemas, resultados y perspectivas, Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Mérida, Yucatán, 1978
13. Gelman O, Laurendruck N, Specifics of analysis of scientific theories within the framework of the general systems theory, Armenian Academy of Science, Pu House, Yerevan, 1974
14. Gelman O, Rangel J L, Desarrollo de un sistema de protección y restablecimiento para una ciudad frente a desastres, Memorias del V Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería Morelia, Michoacán, 1979
15. Graham R J, People, problems and planning: a systems approach to problems identification, Interfaces, Vol. 8, No. 1, Nov 1977
16. Graham R J, On management science process, Interfaces, Vol. 8, No. 2, Feb 1978
17. Graham R J, Seltzer J, An application of catastrophe theory to Management Science Process, Omega, Vol. 7, No. 1; 1979
18. Gupta J N D, Management science implementation: experiences of a practicing O R manager, Interfaces, Vol. 7, No. 3, May 1977
19. Habermas J, Problemas de legitimación del capitalismo tardío, Buenos Aires, Amorrortu, 1975
20. King W R, Cleland D I, Information for more effective strategic planning, Long Range Planning, Vol. 10, Feb 1977

21. Kochen M, Coping with complexity, Omega, Vol. 8, No. 1, 1980
22. Kuhn T S, The structure of scientific revolutions, 2nd ed. The University of Chicago Press, Chicago Ill, 1970
23. Littawer S B, Yegulalp T M, Zahariev G K, A framework for optimizing managerial decision, Omega, Vol. 4, No. 1, 1976
24. Mc Loughlin J B, Urban and regional planning a systems approach, Faber and Faber, London, 1969
25. Mitroff I I, Towards a theory of systemic problem solving: prospects and paradoxes, Int. J. General Systems, Vol. 4, 1977
26. Morris W, Management science bayesian introduction, Prentice Hall Coop, 1968
27. OECD, Symposium on Long Range Forecasting and Planning, Perspectives of Planning, Bellagio, 1969
28. Popper K, Conjetures and refutations: the growth of scientific knowledge, Routledge and Kegan Paul, 1965
29. Rangel J L, Glemán O, Desarrollo del enfoque sistémico y concreción de algunos elementos básicos para definir y analizar el sistema educativo en México, Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1980
30. Richards L D, Graham R H, Identifying problems through gaming, Interfaces, Vol. 7, No. 3, May 1977
31. Toulmin S, Ideals of natural order, philosophical problems of natural science, Dudley Shapere: the Macmillan Co., 1971

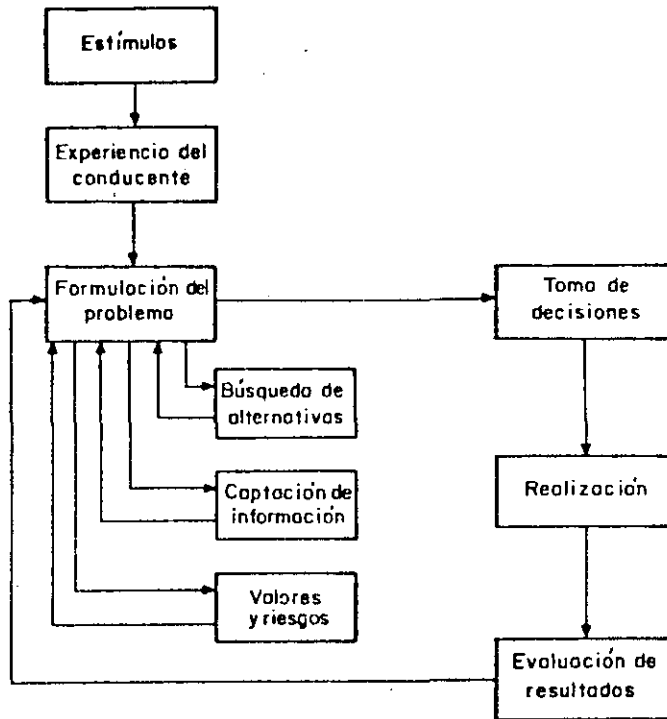


Fig 1. Proceso de toma de decisiones según Morris

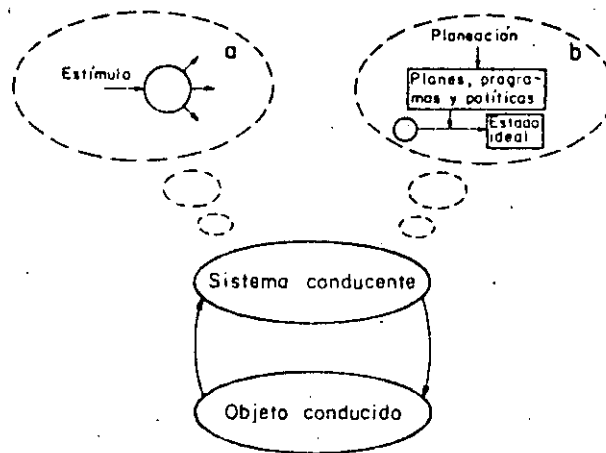


Fig 2. Paradigmas del proceso de conducción a) conducción correctiva, b) conducción planificada

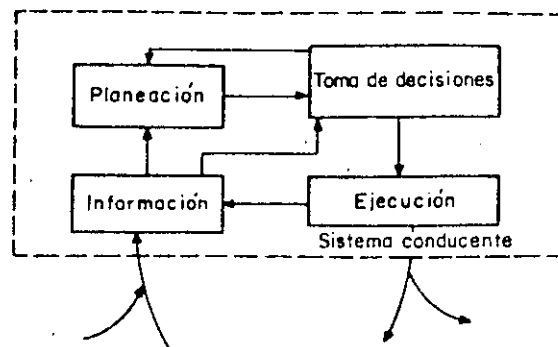


Fig 3. Representación funcional del sistema conducente



Fig 4. Procedimiento de construcción del sistema de problemas según Ackoff

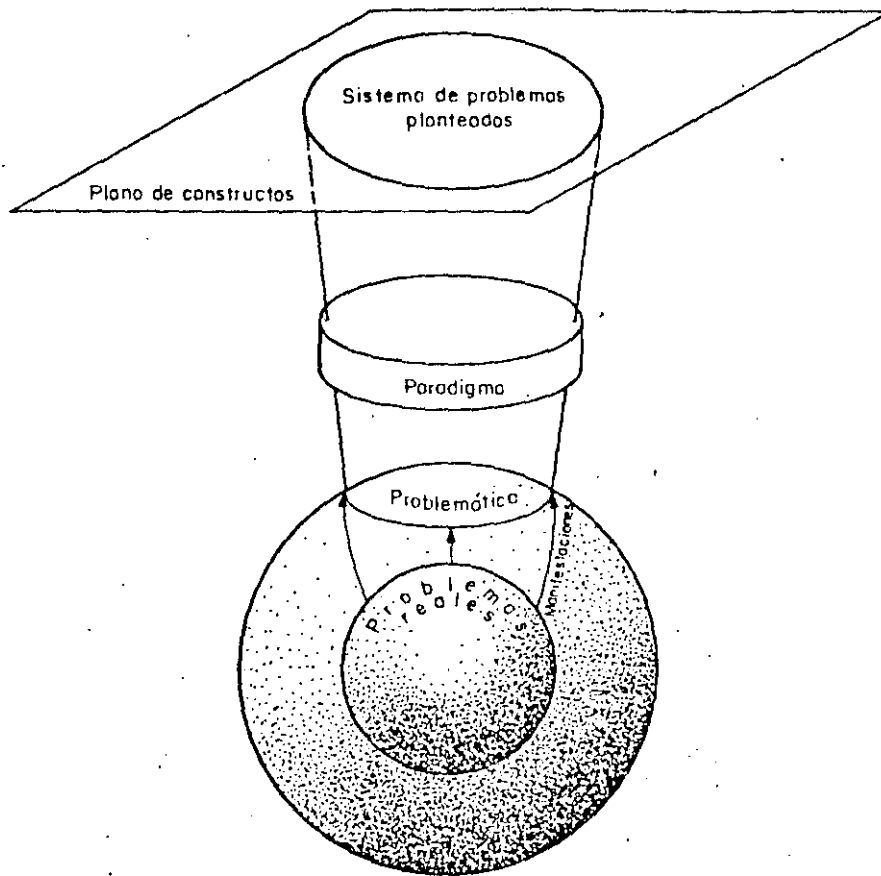


Fig 5. Esquema que permite visualizar el sistema de problemas reales y planteados

(15)

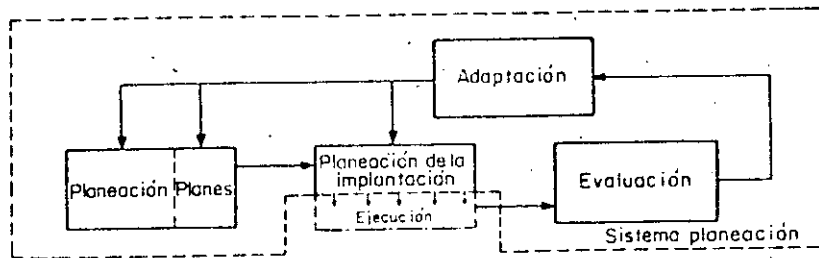


Fig 6 Estructura del proceso de planeación (primer paso)

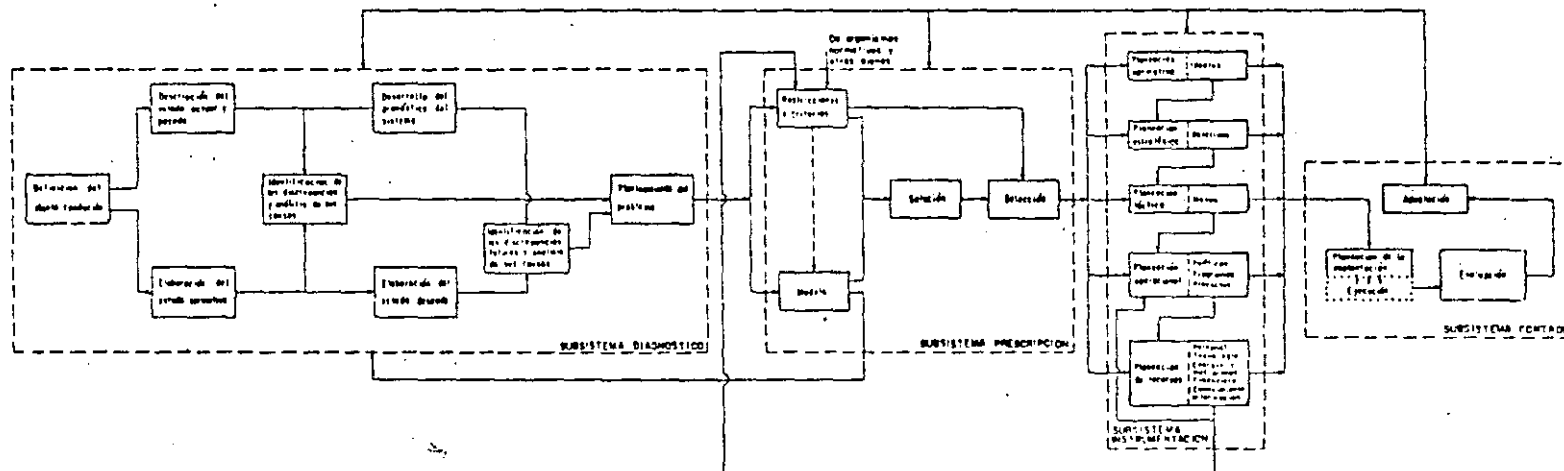


Fig 7. Esquema general del proceso de planeación

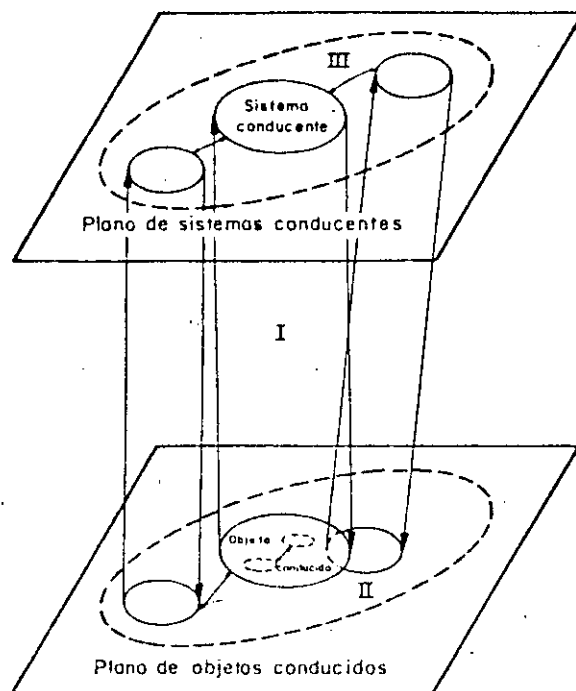


Fig 8. Paradigma para la identificación de tres clases de problemas

CONSIDERACIONES PARA ELABORAR UN PROGRAMA DE DESARROLLO RURAL

LINEAS PARA ELABORAR UN PROGRAMA DE DESARROLLO RURAL

Dr. Ovsei Gelman

Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM

Asesor, Centro de Investigación Prospectiva, Fundación Javier Barros Sierra

Facultad de Administración de Empresas, Universidad de Tel Aviv, Profesor Asociado (en licencia)

Abstract

The concept of "Dispersed City", as the spatial basis of a participative planning program for the development of rural areas, which is considered crucial for the national one, is suggested.

Resumen

Se sugiere el concepto ciudad dispersa como base espacial infraestructural en un programa de planificación participativa del desarrollo rural, considerándolo crucial en el desarrollo global del país.

El papel del sector rural en el desarrollo del país

Parece razonable considerar las áreas rurales como eslabón clave en la solución de muchos problemas relacionados con el desarrollo de México. Evidentemente podrían esgrimirse gran cantidad de argumentos, basados en datos pertinentes; sin embargo, dada la brevedad de espacio, baste con mencionar dos facetas suplementarias de especial interés en el futuro de las áreas rurales de México. La primera, de tipo humanístico, está condicionada por el hecho de vivir ahí una numerosa parte de la población del país, donde una gran mayoría se encuentra en condiciones miserables; y segunda, de carácter productivo, determinada por la ansiedad de satisfacer el suministro de alimentos y materias primas en el futuro.

Considerando la brecha existente entre el estado de desarrollo de los sectores agrícola, silvícola y piscícola y el de la industria, así como la flexibilidad de esta para adaptarse a nuevas y cambiantes condiciones, no será exagerado considerar prioritarios los problemas de "ruralización" sobre aquellos de industrialización.

Finalmente, aunque no menos importante, conviene mencionar el carácter suplementario de la naturaleza de la problemática de la urbanización y la ruralización, lo cual puede permitir llegar a resolver casos de la primera a través de la solución de problemas de la última.

Algunos objetivos del desarrollo rural

Como un subsistema del Sistema Productivo Nacional, al cual se le deben suministrar alimentos, materias primas y fuerza de trabajo, el sistema rural en su desarrollo está y tiene que

estar, en un cierto grado, determinado por el desarrollo de los demás subsistemas del Sistema Productivo Nacional y viceversa.

Pero ocurre que esta y otras consideraciones similares de carácter económico resultan insuficientes, por lo que es necesario optar por un enfoque más general que tome en cuenta los problemas sociales de autoorganización, autoaprendizaje y autocontrol del sistema rural, así como las cuestiones de bienestar y libertad de sus componentes humanos.

El desarrollo, de acuerdo con la conocida definición dada por R. Ackoff (1), debe considerarse en relación con el incremento de las habilidades de la gente para afrontar sus problemas en un mundo cambiante. Dejando para otra ocasión los muy interesantes y específicos estudios metodológicos sobre el concepto "desarrollo", baste por ahora interpretar la problemática del desarrollo como un llamado para una transformación (cambio) social con un consecuente rediseño del futuro.

Este enfoque clarifica algunas metas a largo plazo en la elaboración de una nueva realidad en el área rural, como dónde y cuándo la gente estará en posibilidad de disfrutar un nivel adecuado de bienestar, y podrá al mismo tiempo optar libremente así como tomar decisiones conjuntas para el futuro de su comunidad rural, sujeta a las restricciones naturales de una sociedad democrática.

Para alcanzar estos objetivos, o cuando menos para aproximarse a ellos en cierta medida, debe preverse un programa enorme y complejo que en su realización exigirá abundantes recursos, tiempo y esfuerzo.

Hacia un programa de la transformación socioeconómica de las áreas rurales

La elaboración del programa, así como su consecuente desarrollo, constituyen un interesante problema; estimulando el surgimiento de una serie de diversos proyectos, los cuales deberán ser diseñados y coordinados a través de la implantación del programa. Iniciar ahora la discusión del programa sería demasiado anticipado y superficial, estando clara la necesidad de estudios específicos para obtener el nivel de rigor científico adecuado.

Parece más oportuno dedicar el resto del

opúsculo a presentar algunas ideas básicas para la elaboración del programa y cruciales para su factibilidad.

Como bien se sabe, algunas tendencias actuales en la planificación favorecen el método conocido como Planificación Participativa.

A pesar de sus diferentes versiones con sus respectivos nombres, una de ellas conocida en México como "prospectiva", la esencia de todas ellas puede presentarse mediante dos ideas principales: por el objetivo de conformar el futuro deseado y, por la participación de la gente en el proceso de planificación y su consecuente implantación, quienes están o deben estar influenciados por el rediseño del futuro. Estando bien establecida y habiendo probado ser fructífera en algunas ocasiones, se podría considerar la prospectiva como el software del programa referido.

Durante el proceso de planificación participativa debe preverse la organización, en un cierto sistema espacial jerarquizado, de grupos interdisciplinarios especiales compuestos por planificadores, especialistas y aquella gente "influida". Dicho sistema junto con una infraestructura física adecuada que lo apoye constituyen el hardware del programa.

A pesar del alto nivel de desarrollo del método de planificación es notorio el poco reconocimiento en la literatura de los problemas relativos al establecimiento del hardware. Esto se puede explicar debido al carácter general del software y a la fuerte dependencia del hardware del tipo de sistema bajo rediseño. Esto significa, en otras palabras, que el software puede ser usado directamente, o con algunas modificaciones y ajustes, en el programa mientras el hardware debe ser completamente elaborado para cada caso específico.

El concepto de ciudad dispersa

En la elaboración del hardware es necesario un principio guía heurístico. Este puede derivarse de la reconsideración de dar a la población rural un mayor nivel de bienestar, así como algunas formas de organización para participar en la conformación de su futuro; uno de los principales objetivos del programa. Por ello parece necesario suministrar educación, salud, energía, administración, seguridad, etc, para lo cual es necesario contar con servicios que por lo general proveen las ciudades a sus habitantes y constituyen la principal justificación de su existencia.

Entonces las relaciones conflictivas existentes entre una ciudad y un poblado rural pueden cambiarse por simbióticas, más aún por cooperativas, lo que puede expresarse con la divisa: "ruralización vía urbanización".

Esto sugiere en el contexto del programa, la necesidad de crear e implantar un nuevo tipo de ciudad: "la ciudad dispersa" (CD). Una de es

tas ciudades puede imaginarse como un poblado "núcleo", emergido posiblemente de alguno de los poblados anteriores y que ahora, a través de redes adecuadas de transporte y comunicación provee los servicios mencionados anteriormente a la gente de toda el área, i.e. a todo el conjunto de poblados que forman la periferia de la CD.

La experiencia obtenida durante el diseño y realización de alguna o varias CD puede emplearse en la ampliación de proyectos que cubran otras áreas. Es fácilmente visualizable el nuevo nivel de organización rural formado por varias CD adyacentes, cuyo conjunto podría denominarse "ciudad dispersa regional" (CDR). La expansión del programa llevaría a establecer una nueva jerarquía espacial abarcando la totalidad del territorio.

La estructura jerarquizada de la CD, suplementada por el factor humano, gente entrenada con capacidad para dar los servicios necesarios, constituye el hardware del programa el cual es universal y puede emplearse junto con diversos software, i.e., diferentes métodos de planificación.

Por supuesto el hardware por sí solo no puede solventar los problemas del desarrollo rural; constituye únicamente un elemento necesario, y debe ser suplementado por el resto del programa.

TO SERVE AS GUIDE

Por último, es necesario mencionar la posibilidad de utilizar esta nueva estructura, dado que provee una base para el desarrollo de todo el programa, en el desarrollo de proyectos parciales con objetivos específicos como transferencia de tecnología agrícola, expansión del sistema educativo, etc.

Referencias

- R. L. Ackoff, "National Development Planning Revisited", Operations Research, Vol. 25, No. 2, pp. 207-218, 1977.

SISTEMA DE PROTECCION Y RESTABLECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO
FRENTE A DESASTRES*

O Gelman** S Macias***

RESUMEN

Se da una descripción panorámica de los resultados del proyecto realizado durante los últimos dos años en el Instituto de Ingeniería, en colaboración y bajo el patrocinio del Departamento del Distrito Federal. Se presentan las bases y filosofía del diseño del Sistema de Protección y Restablecimiento del Distrito Federal frente a Desastres (SIPROR) y sus planes, así como de la metodología desarrollada del diseño de sistemas de conducción (gestión) y de la elaboración de sus planes.

ABSTRACT:

The results of the project realized during the last two years in the Engineering Institute of the Mexican National Autonomy University in collaboration and under the sponsorship of the Government of the Mexico City has been described. The bases and philosophy of the design of the System of Protection and Reestablishment of the Federal District Facing Disasters (SIPROR) as well as of the methodology developed of the design of management systems and of the elaboration of its planes has been presented.

* Plática presentada para la XI Reunión informativa del Instituto de Ingeniería, 16 diciembre 1982

** Investigador Titular, Instituto de Ingeniería UNAM

*** Ayudante de Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM

INTRODUCCION

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México, con sus más de dieciséis millones de habitantes, representa un gran reto tanto para la organización y planeación de su desarrollo, como para proporcionar los mínimos requeridos de seguridad y servicios a su población en general.

Entre las causas que complican la solución de los problemas que sufre la Ciudad de México, destacan las siguientes:

1. El acelerado crecimiento demográfico* y las fuertes tendencias migratorias** que producen una elevada densidad de

* En 1981, la tasa de crecimiento de la ZMCM fue de 4% (FUENTE: López Portillo J, "Sexto Informe de Gobierno", Informe Complementario. 1982).

** Según el censo de 1970 (último disponible con información completa) más de 150 000 personas cambiaron anualmente su residencia al D.F., y en los últimos años esta cifra parece aumentar.

población y acentúan la heterogeneidad de los asentamientos en la ciudad.

2. El desordenado crecimiento de la ciudad orientado más por las necesidades a corto plazo que por la planeación con el consecuente aumento en complejidad y desorganización de los servicios urbanos*, que en ocasiones producen efectos negativos no solo durante su falla, sino aun durante su funcionamiento normal.**
3. El peso socioeconómico, administrativo y político que tiene el Distrito Federal debido a la concentración de población***, industria **** y poder*****, por lo que resulta claro el efecto amplificador de la ciudad de México sobre el resto del país, en caso de ocurrencia de un desastre de gran magnitud.

* Por ejemplo, la Ciudad de México recibe agua de 13 sistemas diferentes, por un total de más de 40 m³/s y se distribuye a través de 540 Km de tubería primaria y 11700 Km de tubería secundaria; por otra parte el sistema de drenaje de la ciudad cuenta con 486,000 coladeras pluviales, 11 500 Km de atarjeas y 250,000 pozos de visita.

** Por ejemplo, la operación de los más de 850 pozos en el DF es en gran parte culpable del hundimiento de la ciudad, que de 1952 a 1980 alcanzó un promedio anual de más de 16 cm. Si bien la explotación de estos pozos es forzosa para no dejar sin agua a un sector de la población, si constituye un ejemplo claro de soluciones a corto plazo, por la falta de una adecuada planeación.

*** La zona metropolitana de la ciudad alberga más del 22% de la población total del país

**** La Ciudad de México produjo el 44% del PIB, el 52.15% de la producción industrial y el 54.7% de los servicios nacionales en 1975 (Plan de Desarrollo Urbano, DDF, enero 1980)

***** En el DF se encuentran las jefaturas de los tres poderes de la unión: Ejecutivo, Legislativo y Judicial. Asimismo, en el área metropolitana se ubica más del 40% de los empleados del sector público federal, en 1975 (Plan de Ordenación Territorial, SAHOP. 1976)

4. La alta propensión de la ciudad a calamidades tales como sismos*, inundaciones**, hundimientos, contaminación, etc.

5. La insuficiencia e ineficiencia de las medidas convencionales de atención de desastres, por su carácter fragmentario, aislado y disperso, debido, por un lado, al improvisado desarrollo (orientado a resolver los problemas inmediatos) de los cuerpos dedicados a estas tareas, y por otro, a que no existen normas, leyes y reglamentos explícitos que regulen sus actividades y establezcan responsabilidades

6. La respuesta de la ciudad a las calamidades ha estado orientada hacia las necesidades inmediatas de socorro, limitándose a acciones correctivas durante la ocurrencia del desastre y relegando las importantes tareas de previsión y planeación.

* De 1957 a la fecha se han sentido 13 sismos de más de 6.5° Richter, provocando cuantiosos daños. Por ejemplo, el sismo del 28 de julio de 1957, que causó la caída del Ángel de la Independencia, o el de marzo de 1979, que colapsó la Universidad Iberoamericana.

** La ciudad sufre un promedio de 150 inundaciones registradas al año, causando, por ejemplo, en 1978, la interrupción de tráfico en el Viaducto Miguel Alemán en 10 ocasiones y 13 en la Calzada de Tlalpan, en una de ellas por más de 6 horas

De esta forma, para fortalecer a la ciudad frente a desastres no basta con mejorar las medidas existentes e implantar otras; es necesario, además, planificar, organizar y coordinar un conjunto de actividades que deben realizarse sistemáticamente antes, durante y después de un desastre.

Esto implica la necesidad de contar con un plan que contemple todas las actividades orientadas a la protección de la ciudad ante las calamidades y su restablecimiento durante y después de los desastres. Sin embargo, la elaboración de este plan, su ejecución, evaluación y adaptación a las condiciones cambiantes implica la necesidad de contar con una organización o sistema institucionalizado que se responsabilice por el desarrollo y realización del plan. Actualmente este sistema no existe y sólo se encuentran en funcionamiento ciertos fragmentos de él.

A partir de esta filosofía es necesario diseñar, en primera instancia, el sistema que integre y organice los fragmentos existentes, y que se responsabilice por el logro de los objetivos básicos de protección y restablecimiento de la ciudad de México frente a desastres.

La seria preocupación por la tendencia de crecimiento en magnitud e intensidad de los daños provocados por desastres en los últimos años, así como por la insuficiencia de las medidas convencionales, expresada en muchas ocasiones por parte de las autoridades, de la comunidad científica y de la población en general, dio origen a un proyecto realizado en el Instituto de Ingeniería desde agosto

de 1980, en colaboración y bajo el patrocinio del Departamento del Distrito Federal.

Según la postura planteada, la primera etapa del proyecto se de dicó al diseño conceptual del sistema de protección y Restableci miento de la Ciudad de México frente a Desastres (SIPROR), a par tir del establecimiento de un marco conceptual (fig 1), y del de- sarrollo de estudios sobre el sistema capaz de producir calamida des (sistema perturbador) y sobre la ciudad como el sistema que sufre los desastres (sistema afectable).

Estos estudios permitieron establecer los objetivos del sistema (fig 2), identificar y estudiar las calamidades a que está propen sa la ciudad (fig 3), y definir y analizar los sistemas de subsis tencia que la conforman (fig 4).

Al fin se conceptualizó al SIPROR como una estructura jerárquica piramidal encabezada por un organismo central coordinador, que or ganiza, integra y coordina los órganos de protección y restableci miento (u Organos de Coordinación Interna) de los sistemas de subsistencia de la ciudad, y a los servicios especializados en emergencias (fig 5).

En la segunda etapa del proyecto se continuo con el diseño admi nistrativo del Organismo Central Coordinador cuyo nombre oficial es Comisión Coordinadora del SIPROR, estableciendo su estructura y facultades (fig 6), así como su organigrama (fig 7), y elabo-

rando las bases legales para su implantación (Proyectos de Acuerdo de Creación de la Comisión Coordinadora, de su Reglamento Interior y de la Ley de Protección y Restablecimiento del Distrito Federal frente a Desastres).

Asimismo, se inicio la elaboración del principal instrumento del SIPROR para el logro de sus objetivos; el Plan General de Protección y Restablecimiento, que está compuesto de tres planes parciales: Plan General de Prevención y Mitigación; Plan General de Atención de Emergencias y Plan General de Recuperación (Fig 8).

Tomando en cuenta la prioridad de la atención en caso de desastre, se desarrolló, en primera instancia, el Plan General de Atención de Emergencias, hasta llegar al nivel de planes de acción concretos (llamados Planes para Casos Específicos) de la Comisión Coordinadora del SIPROR*, así como el diseño de los elementos y procedimientos necesarios para ejecutarlos.

Por lo que respecta al Plan General de Prevención y Mitigación, se desarrollaron las metodologías para la elaboración de Planes de Prevención y Planes de Mitigación, utilizando ésta última para la preparación de los Planes de Mitigación de la edificación y del sistema hidráulico ante sismos, conjuntamente con los métodos y procedimientos para su realización,

* Se elaboró la metodología de preparación de planes y se concretizó en el desarrollo de cinco Planes para Casos Específicos, que son ante sismos, calamidades hidrometeorológicas, e interrupción de servicios de agua potable, alcantarillado y transporte.

En la tercera etapa del proyecto, se continuó con el desarrollo del Plan General de Prevención y Mitigación, elaborando los Planes de Prevención de lluvias e inundaciones, así como los Planes de Mitigación de los sistemas hidráulico, de transporte y eléctrico ante calamidades hidrometeorológicas, incluyendo diferentes métodos concretos y lineamientos para su ejecución.

Asimismo, y tomando en cuenta que el funcionamiento del SIPROR depende crucialmente de disponer de información relevante, confiable y oportuna, se realizó el Diseño Conceptual del sistema de información del SIPROR, a partir de sus objetivos, papel y relaciones con los organismos integrantes del SIPROR y su entorno.

Esta breve presentación de los resultados obtenidos en las tres etapas sólo pretende mostrar una visión panorámica de la globalidad del proyecto*

Para terminar, es importante hacer las siguientes conclusiones:

1. Los resultados del proyecto han sido ya aprobados en su totalidad por el patrocinador, y el Acuerdo de creación de la Comisión Coordinadora (primer paso para la implantación del sistema diseñado) ha sido firmado por el reg

*Las publicaciones producidas en el marco del proyecto se presentan en la lista de referencias.

- te y publicado en la gaceta del Departamento, prácticamente sin modificaciones al propuesto en el proyecto.
2. Como un subproducto del proyecto se capacitó a personal del Departamento del Distrito Federal, que debe constituir la base para implantar el sistema propuesto.
 3. Se cuenta con una metodología explícita (desarrollada en el proyecto y discutida en diferentes foros nacionales e internacionales) de diseño de sistemas complejos, incluyendo aspectos de organización, funcionamiento, operación, reglamentación y legislación.
 4. Se adquirió una mayor comprensión del proceso de planeación, y del contenido y forma de los planes para cambiar la realidad, así como del proceso de solución de problemas reales.
 5. Se obtuvo experiencia en la realización de proyectos de gran escala, que exigen la participación de diversas áreas de investigación, así como al enfrentarse a problemas de organización y coordinación
 6. Finalmente, considerando el nivel de desarrollo logrado, sería conveniente fomentar el estudio de la Teoría e Ingeniería de Desastres, que por ser un campo relativamente nuevo, ofrece amplias perspectivas de resultados a corto, mediano y largo plazo.

REFERENCIAS

1. Gelman O, *Diseño de un sistema de protección y restablecimiento de la ciudad de México frente a desastres*. Propuesta del proyecto. 1980. 10 pp.
2. Gelman O, *Etapa I: Estudios básicos (informe preliminar)*. Nov, 1980. 64 pp.
3. Gelman O, *Material de trabajo*. Enero, 1981. 31 pp.
4. Gelman O, *Establecimiento de un núcleo de trabajo*. Febrero, 1981. 4 pp
5. Gelman O, *Informe resumido de avance y plan para la siguiente etapa*. Febrero, 1981 15 pp.
6. Gelman O, *Material para la presentación del informe resumido y plan de la siguiente etapa*. Junio, 1981. 34 pp
7. Gelman O, Macias S, Perea G, Rodríguez C, Sánchez MA, SIPROR: PRIMERA ETAPA. Vol. I *Informe resumido y plan de la siguiente etapa*. Junio 19 1. 5 pp (Tomo 1).
8. Gelman O, Macias S, Perea G, Rodríguez C, Sánchez MA, SIPROR: PRIMERA ETAPA, Vol. II *Informe general*. Septiembre, 1981 295 pp (Tomo 2).
9. Ibid SIPROR: PRIMERA ETAPA, Vol. III Anexo A. Septiembre, 1981. 52 pp (Tomo 3)
10. Ibid SIPROR: PRIMERA ETAPA, Vol. III Anexo B Octubre, 1981 213 pp (Tomo 4)
11. Ibid SIPROR: PRIMERA ETAPA, Vol. III Anexo C. Octubre, 1981 196 pp (Tomo 5)
12. Ibid. SIPROR: PRIMERA ETAPA, Vol. III Anexo D, Octubre, 1981. 449 pp (Tomo 6).
13. Ibid. SIPROR: PRIMERA ETAPA, Vol. III Anexo E Septiembre, 1981, 123 pp (Tomo 7).
14. Gelman O, Sánchez MA, *Recomendaciones para el establecimiento de la Comisión Transitoria*, Septiembre, 1981. 13 pp.
15. Gelman O, Macias S, Sánchez MA, *Propuesta de la tercera etapa*. Octubre, 1981. 4pp.
16. Gelman O, Guerrero G, Macias S, Perea G, Rodríguez C, y Sánchez MA, *Plan de atención de emergencias de la ciudad de México frente a inundaciones, dentro del contexto del SIPROR*. Elaborado para "Tercer Simposium Internacional sobre Emergencias Urbanas: huracanes, inundaciones y sus

- efectos en los asentamientos humanos", efectuado en la Paz, BCS Noviembre, 1981. 22 pp.
17. Gelman O, Macías S, Sánchez M A, Informe parcial: *Requerimientos para el desarrollo de la 2nda. fase de la Comisión Transitoria.* Marzo, 1982. 143 pp.
 18. Gelman O, Macias S, Sánchez MA, *Material para la presentación del informe parcial.* Marzo, 1982. 52 pp
 19. Gelman O, et al, *Sinopsis,* Abril, 1982. 28 pp
 20. Gelman O, et al, *Anexo a la Sinopsis,* Abril, 1982. 125 pp
 21. Gelman O, Macias S, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. I *Informe resumido y plan de la siguiente etapa.* Agosto, 1982. 63 pp (Tomo 8).
 22. Gelman O, Macias S, Sánchez MA, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. II. *Plan General.* Abril, 1982. 120 pp (Tomo 9).
 23. Gelman O, Macias S, Moreno E, Sánchez MA, Tamayo G, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. III, Anexo F: *Fundamentos legales.* Abril, 1982. 63 pp (Tomo 10).
 24. Gelman O, Macias S, Perea G, Rodríguez C y Sánchez MA, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. III Anexo G: *Bases administrativas.* Abril 1982, 37 pp (Tomo 11).
 25. Gelman O, Macias S, Mendoza R, Ramos C, Sánchez MA, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. III Anexo H: *Elementos y procedimientos de apoyo.* Abril, 1982. 133 pp (Tomo 12).
 26. Gelman O, Macias S, Perea G, Rodríguez C y Sánchez MA, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. III Anexo I: Apéndice I.1: *Plan de rescate para calamidades hidrometeorológicas.* Abril, 1982. 142 pp (Tomo 13)
 27. Idem SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. III Anexo I: Apéndice I.2: *Plan de rescate para sismos,* Abril, 1982. 136 pp (Tomo 14)
 28. Gelman O, Macias S, Sánchez A, Velázquez L, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. III, Anexo I: Apéndice I.3: *Plan de rescate para interrupción de servicio de agua potable.* Abril, 1982. 68 pp (Tomo 15)
 29. Gelman O, Macias S, Sánchez MA, Velázquez L. SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. III, Anexo I: Apéndice I.4: *Plan de rescate para interrupción del servicio de alcantarillado.* Abril, 1982. 140 pp (Tomo 16).

30. Idem, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. III Anexo I: Apéndice I.5: *Plan de rescate para interrupción del servicio de transporte*. Abril, 1982. 6 pp. (Tomo 17)
31. Gelman O, et al, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. III Anexo J: *Directorios*. Abril, 1982 477 pp (Tomo 18).
32. Gelman O, Macias S, *Metodología para la elaboración de planes de emergencia*, Presentado en "Congreso Internacional sobre Emergencias Urbanas". Cancún, QR Junio, 1982. 27 pp.
33. Gelman O, et al, *Síntesis (Actualizada)*, Julio, 1982. 37 pp
34. Aguerrebere R, Gelman O, Macias S, Terán A, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. IV. *Plan de prevención y mitigación de los sistemas de edificación e hidráulico ante sismos*. Julio, 1982. 165 pp (Tomo 19).
35. Aguerrebere R, Gelman O, Macias S, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. V Anexo K: *Evaluación del peligro sísmico*. Agosto, 1982. 124 pp (Tomo 20)
36. Idem SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. V Anexo L: *Daños históricos y probables por sismos en edificaciones*. Agosto, 1982. 83 pp. (Tomo 21).
37. Idem. SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. V. Anexo M: *Elaboración de inventarios de edificación*. Agosto 1982. 83 pp (Tomo 22).
38. Aguerrebere R, Brito R, Gelman O, Guerra O, Macías S, Rascón O, Villaverde R, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. V Anexo N: *Métodos de Evaluación de Vulnerabilidad de edificación*. Agosto, 1982. 171 pp (Tomo 23)
39. Aguerrebere R, Gelman O, Loera S, Macías S, Mendoza C, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. V Anexo O: *Inspección y reforzamiento postsísmico*. Agosto, 1982. 97 pp (Tomo 24).
40. Aguerrebere R, Gelman O, Macias S, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. V Anexo P: *Capacitación del personal e información al público*. Agosto, 1982. 37 pp (Tomo 25).
41. Gelman O, Macias S, Rascón O, Terán A, SIPROR: SEGUNDA ETAPA, Vol. V Anexo Q: *Daños históricos por sismo en el sistema hidráulico*. Agosto, 1982, 85 pp (Tomo 26)
42. Gelman O, Macias S, Terán A, SIPROR: SEGUNDA ETAPA; Vol. V Anexo R: *Evaluación de la vulnerabilidad y reforzamiento del sistema hidráulico ante sismos*. Agosto, 1982, 91 pp (Tomo 27).

43. Gelman O, Macias S, SIPROR; TERCERA ETAPA, Vol. I *Informe resumido y plan de la implantación*. Octubre, 1982. 60 pp (Tomo 28).
44. Gelman O, Macias S, SIPROR; TERCERA ETAPA, Vol II. *Plan de prevención y mitigación de los sistemas hidráulico eléctrico y de transporte ante calamidades hidrometeorológicas*. Octubre, 1982. 168 pp (Tomo 29)
45. Gelman O, Macias S, Terán A, SIPROR; TERCERA ETAPA, Vol. III Anexo S: *Peligro hidrometeorológico*. Octubre, 1982 (Tomo 30).
46. Gelman O, Macias S, Terán A, SIPROR; TERCERA ETAPA, Vol III Anexo T: *Evaluación de la vulnerabilidad y reforzamiento del sistema hidráulico ante calamidades hidrometeorológicas*. Octubre, 1982 (Tomo 31)
47. Gelman O, Macias S, Terán A, SIPROR; TERCERA ETAPA, Vol III. Anexo U: *Evaluación de la vulnerabilidad y reforzamiento del sistema de transporte ante calamidades hidrometeorológicas*. Octubre, 1982 (Tomo 32).
48. Gelman O, Macias S, Mendoza R., SIPROR; TERCERA ETAPA, Vol. IV *Diseño del sistema de información del SIPROR*, Octubre, 1982, 175 pp (Tomo 33).
49. Gelman O, *Planes de emergencia en el contexto de la protección y restablecimiento de la ciudad de México frente a desastre*. Elaborado para: "Emergency 82: International Congress for Emergency, Disaster Preparedness and Relief", efectuado en Ginebra, Suiza, Octubre, 1982.
50. Gelman O, Merino H, Sánchez M A, *Plan general para emergencias*, Capítulo 9 del libro: "El Sistema Hidráulico del Distrito Federal; Un servicio público en transición". DDF México, 1982.
51. Gelman O, Macias S, *Elaboración de un marco conceptual para el estudio interdisciplinario de desastres*, Departamento de Sociologia dei disastri, Istituto di Sociologia Internazionale, Italia, 1982, Quaderno No 82-6, 12 pp.

Calamidad es el acontecimiento que puede impactar al sistema afectable y transformar su estado normal o deficiente en un estado de desastre.

Desastre en la ciudad es toda perturbación de la actividad social y económica normal que ocasione pérdidas extensas o graves.

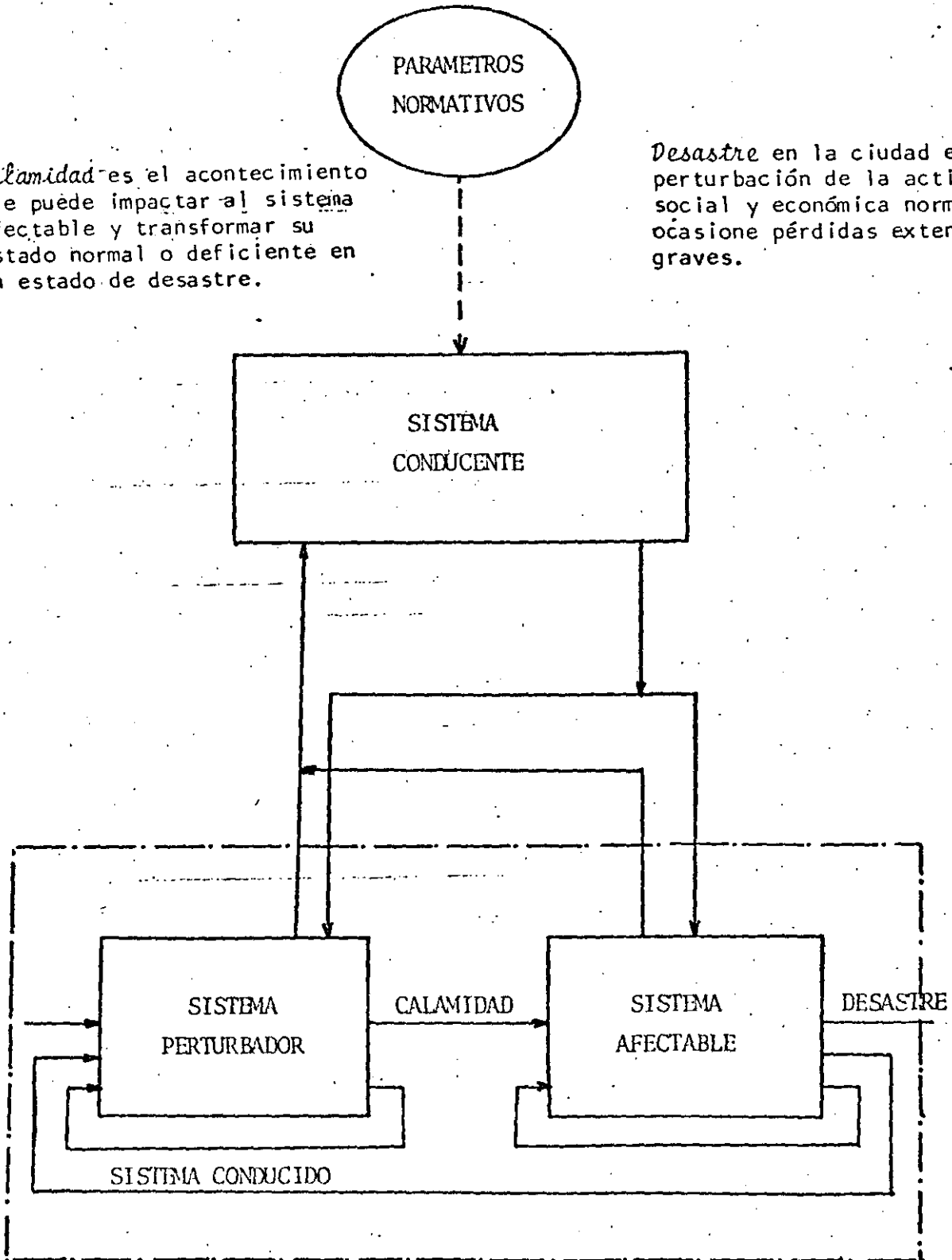
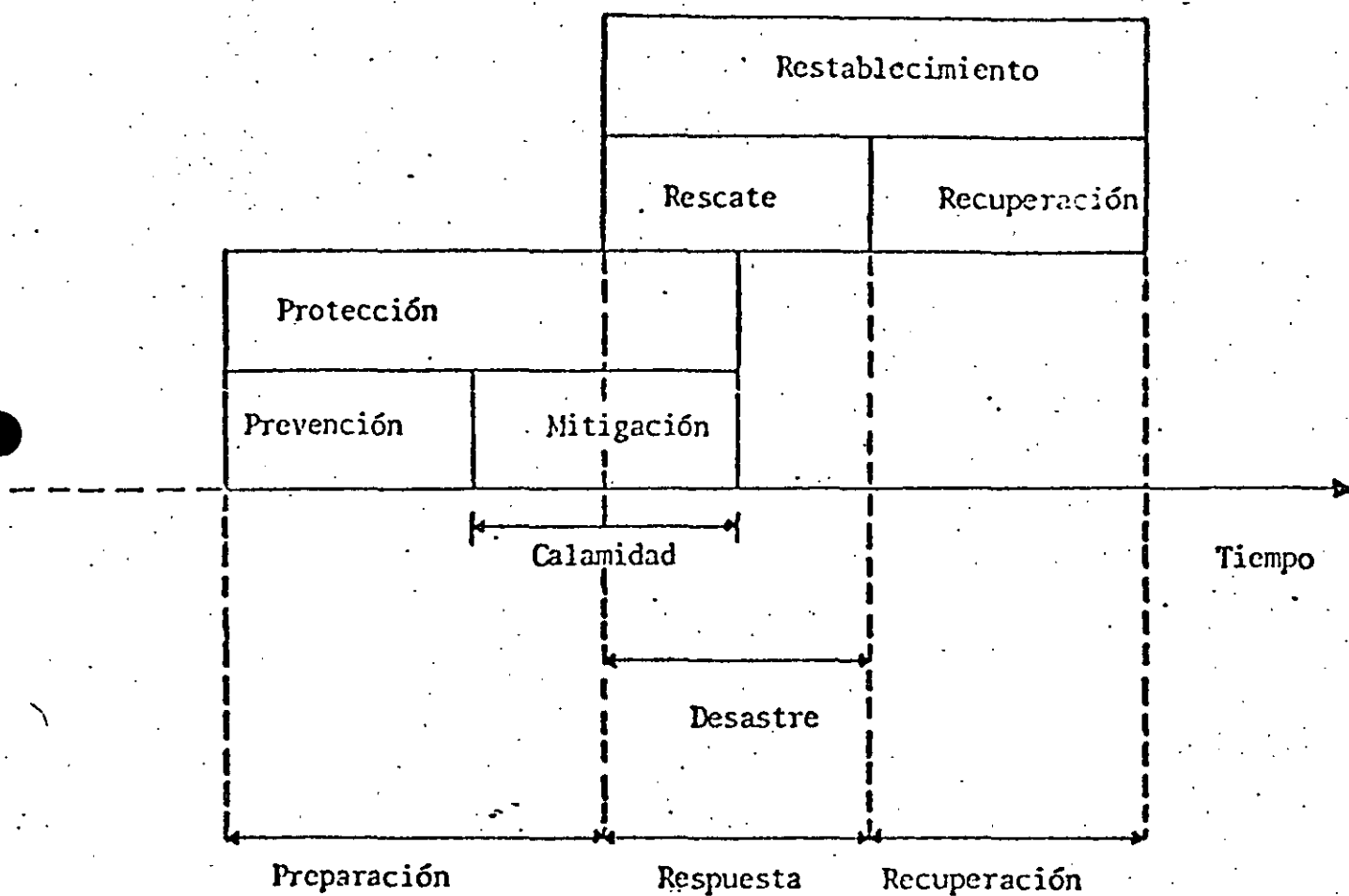


FIG 1 MARCO CONCEPTUAL

55

Prevención: impedir o disminuir la ocurrencia de las calamidades

Mitigación: disminuir los efectos de los impactos de las calamidades



Rescate: salvar vidas y bienes, rehabilitar servicios de soporte de vida

Recuperación: reconstruir y mejorar el sistema afectable

FIG 2 OBJETIVOS DEL SIPROR EN RELACION AL TIEMPO

I. HIDROMETEOROLOGICOS

56

16

1. LLUVIAS
2. TORMENTAS DE GRANIZO
3. INUNDACIONES
4. TEMPERATURAS EXTREMAS
5. SEQUIAS
6. TORMENTAS ELECTRICAS
7. VIENTOS

II. GEOLOGICOS

1. SISMOS
2. VULCANISMO
3. COLAPSO DE SUELOS
4. HUNDIMIENTO REGIONAL* Y AGRIETAMIENTO

III. FISICO QUIMICOS

1. CONTAMINANTES*
2. ENVENENAMIENTOS
3. INCENDIOS
4. EXPLOSIONES
5. RADIACIONES

IV. SANITARIOS

1. EPIDEMIAS
2. PLAGAS

V. PROVOCADOS POR EL HOMBRE

1. CRECIMIENTO EXPLOSIVO DE POBLACION*
2. FALLAS HUMANAS
3. DISTURBIOS SOCIALES
4. ACTOS DELICTIVOS*, SABOTAJE Y TERRORISMO
5. ACCIDENTES*
6. ACCIONES BELICAS
7. DROGADICCION*, ALCOHOLISMO*, ACTOS DE LOCURA*
8. EFECTOS NEGATIVOS PRODUCIDOS POR LA OPERACION ACTUAL DE SERVICIOS

VI. INTERRUPCION DE SERVICIOS

FIG 3 IDENTIFICACION Y CLASIFICACION DE CALAMIDADES POR SU ORIGEN

* Calamidades permanentes en la Ciudad de México

SISTEMAS VITALES

- 1.SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA
- 2.SISTEMA DE AGUA POTABLE
- 3.SISTEMA DE SALUD
- 4.SISTEMA DE VIVIENDA
- 5.SISTEMA DE ABASTOS
- 6.SISTEMA DE ALCANTARILLADO
- 7.SISTEMA DE SEGURIDAD PUBLICA Y SÓCIAL
- 8.SISTEMA DE LIMPIEZA URBANA
- 9.SISTEMA DE TRANSPORTE
- 10.SISTEMA DE COMUNICACIONES
- 11.SISTEMA DE ENERGETICOS
- 12.SISTEMA ADMINISTRATIVO

SISTEMAS DE APOYO

- 1.SISTEMA INDUSTRIAL
- 2.SISTEMA COMERCIAL
- 3.SISTEMA BANCARIO
- 4.SISTEMA ECOLOGICO
- 5.SISTEMA AGROPECUARIO

SISTEMAS COMPLEMENTARIOS

- 1.SISTEMA EDUCATIVO
- 2.SISTEMA RECREATIVO
- 3.SISTEMA TURISTICO
- 4.SISTEMA DE CULTOS RELIGIOSOS

57

COMPONENTES DE SERVICIOS DE SOPORTE DE VIDA

- 1.SERVICIOS ESPECIALIZADOS DE RESCATE
 - 2.BOMBEROS
 - 3.POLICIA
 - 4.HOSPITALES
 - 5.REDE DE COMUNICACIONES
 - 6.VIAS DE COMUNICACION VIAL
 - 7.TUBERIA DE AGUA POTABLE
 - 8.EDIFICIOS PUBLICOS
-

17

FIG 4 SISTEMAS DE SUBSISTENCIA Y SERVICIOS DE SOPORTE DE VIDA

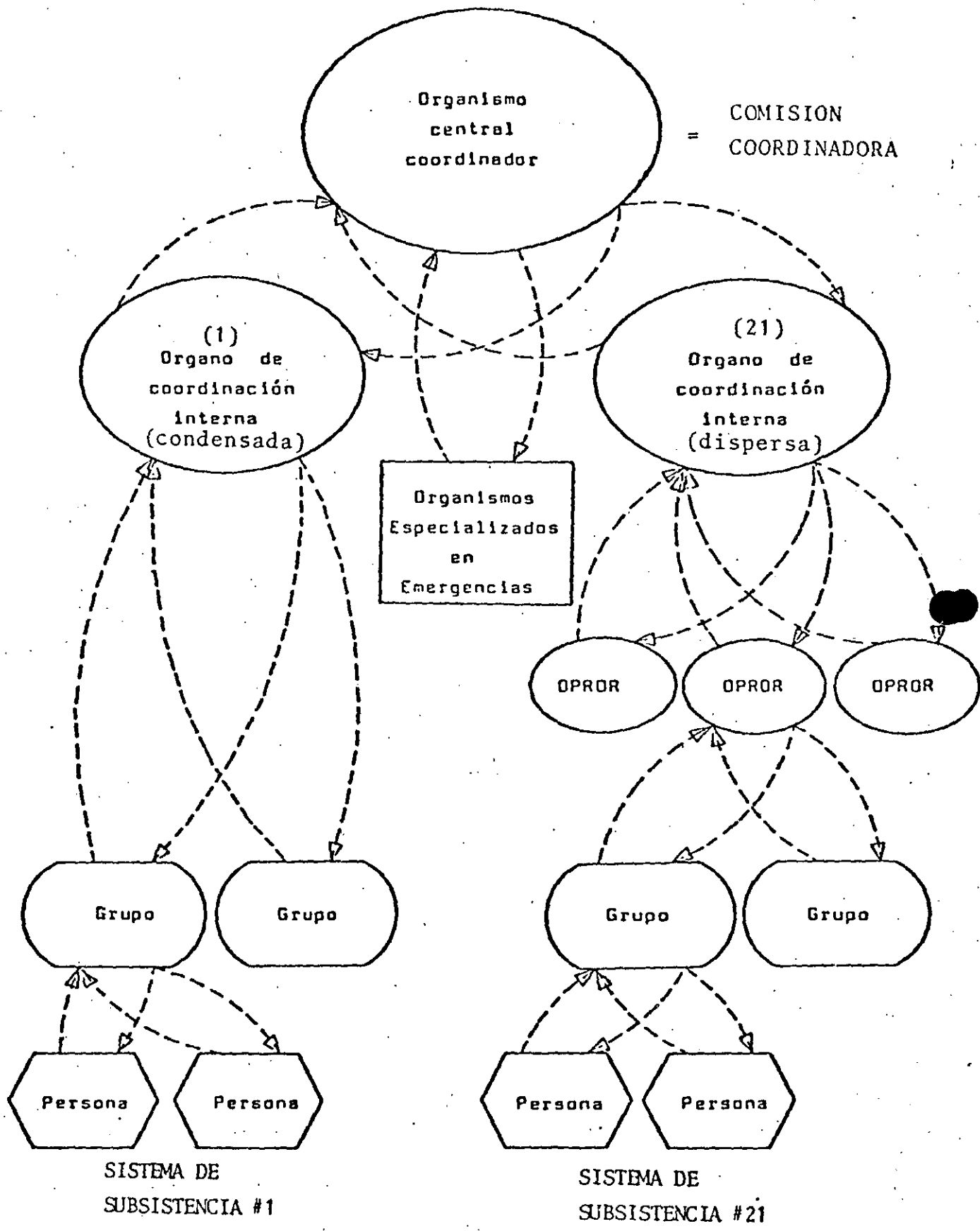


FIG 5 ESTRUCTURA JERARQUICA DEL SIPROR (ACTUALIZADA)

REGISTRACION

PRESIDENTES

- Honorario (el Ejecutivo Federal)
- Ejecutivo (Jefe del DDF)

VOCALES

- Secretario Gral. de Gobierno "A".
- Secretario Gral. de Gobierno "B".
- Secretario Gral. de Obras y Servicios.
- Oficial Mayor.
- Delegados DDF.
- Directores Generales DDF.
- Presidente Consejo Consultivo de la Cd.
- Director de la Comisión Ejecutiva.

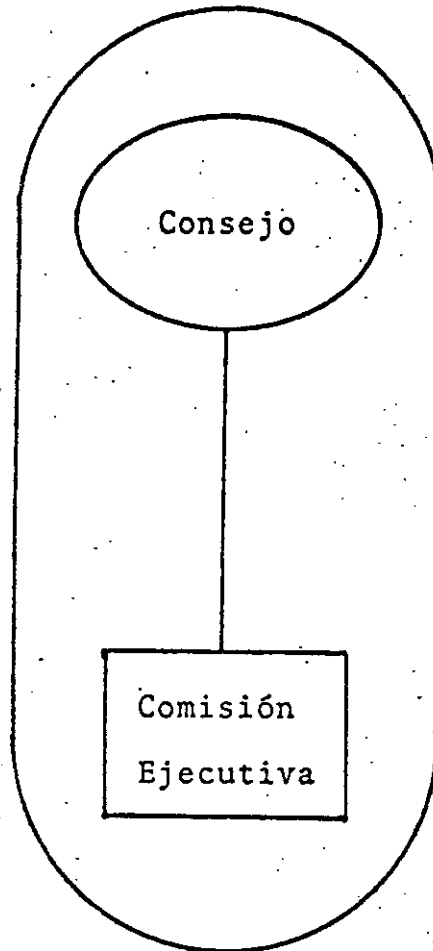
REPRESENTANTES

- Administración pública federal.
- Sector privado.
- Organismos internacionales.

DIRECCION Y ASESORIA.

SUBDIRECCIONES

- Administración.
- Asuntos Jurídicos.
- Atención de Emergencias.
- Capacitación y Educación.
- Coordinación de Organismos.
- Información.
- Organización de Estudios Técnicos y Socio-económicos.
- Planeación.
- Relaciones Públicas.



FUNCIONES Y ATRIBUCIONES

- Administrar y representar al OCC.
- Revisar y aprobar los planes.
- Revisar y aprobar el presupuesto.
- Nombrar y remover al Director General.
- Delegar facultades al Director General.
- Reformar el Reglamento Interior.
- Designar y remover funcionarios.
- Vigilar el cumplimiento de los objetivos.

- Implantar y operar el SIPROR.
- Coordinar y/o atender las situaciones de emergencia.
- Elaborar, ejecutar y actualizar el Plan General de Protección y Restablecimiento del D.F.
- Organizar, vigilar y evaluar los planes parciales de atención de emergencias de las dependencias del DDF y sector privado.
- Recabar, solicitar y captar información para conocer el estado del D.F.
- Captar información de la preparación, respuesta y recuperación para desastres.
- Proponer y actualizar la legislación en materia de desastres en el D.F.
- Realizar y difundir programas de orientación y capacitación para emergencias.
- Especificar y realizar estudios para el cumplimiento de objetivos.

FIG 6 ESTRUCTURA Y FACULTADES DEL ORGANISMO CENTRAL COORDINADOR: COMISION COORDINADORA

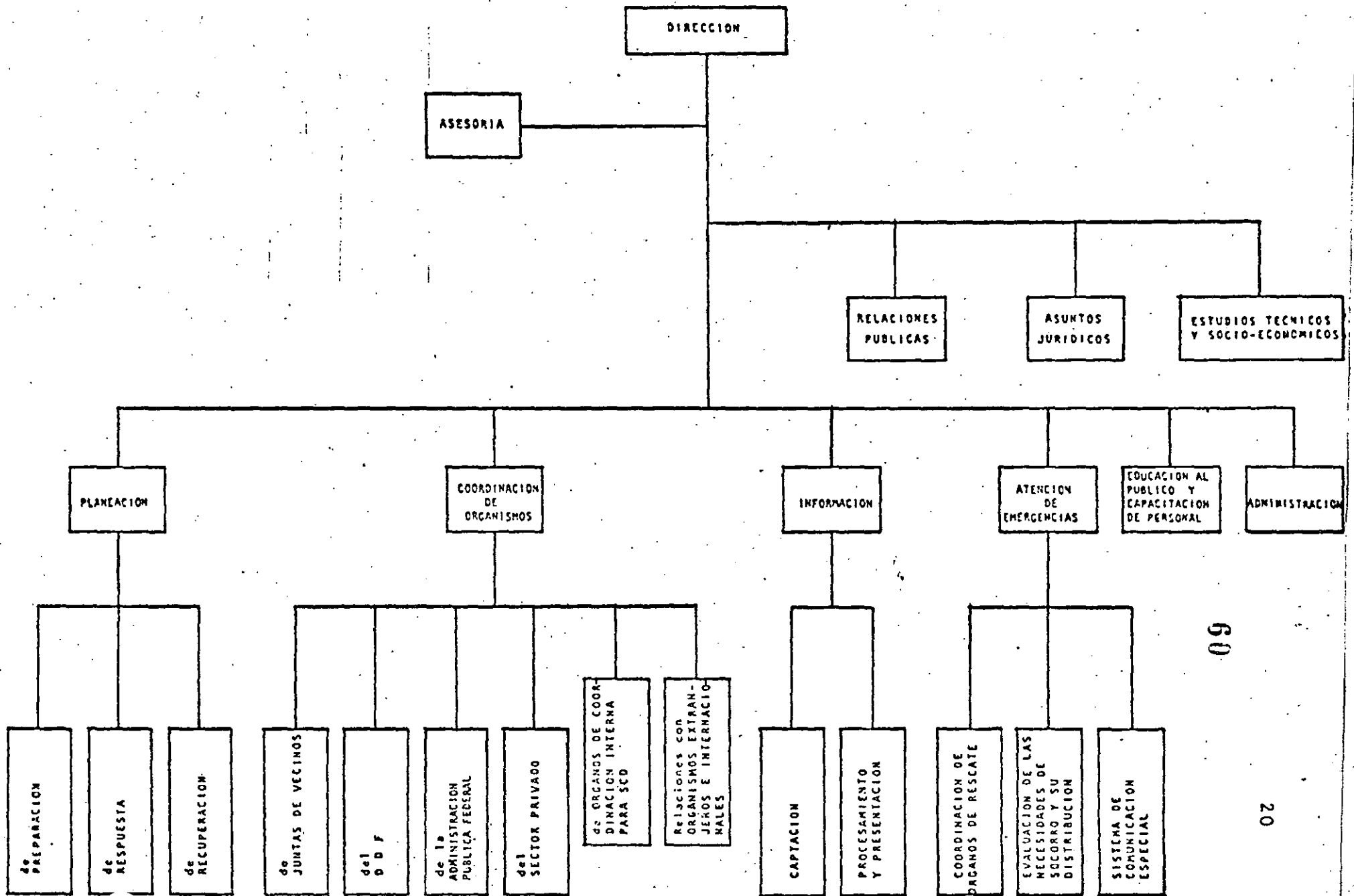


FIG 7 ORGANIGRAMA DE LA COMISION EJECUTIVA DEL OCC (EN ESTADO NORMAL)

60

20

61

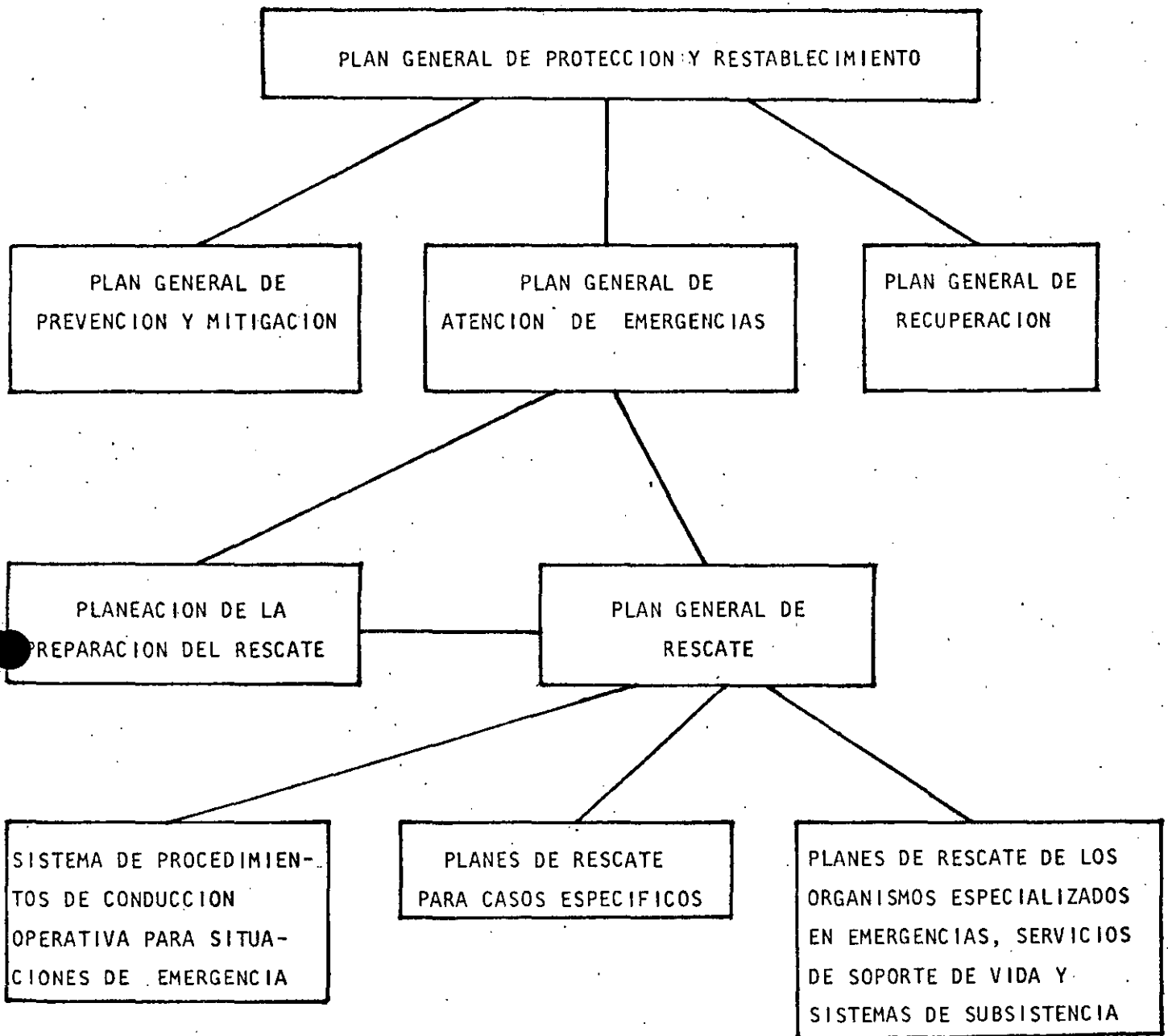


FIG. 8 ESTRUCTURA JERARQUICA DE LOS PLANES DE PROTECCION Y RESTABLECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

PROGRAMACION LINEAL

DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES

NOVIEMBRE, 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVILA

El principal propósito de esta sesión es describir la Programación Lineal, uno de los procedimientos más poderosos y ampliamente utilizados para optimizar la asignación de recursos.

El énfasis estará sobre el desarrollo de cómo pueden formularse e interpretarse los modelos de programación lineal y de los problemas a los que pueden y no pueden ser aplicados. El objetivo es indicar cómo se ajusta la programación lineal dentro de las herramientas disponibles al

Ingeniero de Sistemas y bajo qué circunstancias deberá utilizarse. Esta perspectiva parece particularmente apropiada ya que la disponibilidad casi universal de paquetes de computadora hace innecesario para el ingeniero dominarla en detalle. A menudo es más importante conocer sus características más amplias de manera que pueda usar los enfoques más efectivos a un problema.

INTRODUCCION A PROGRAMACION MATEMATICA

La forma general del problema de programación matemática es encontrar valores para las variables (X_1, \dots, X_n) de tal manera que,

maximizar (o minimizar) $Z = g(X_1, \dots, X_n)$ sujeto a las restricciones $h_i(X_1, \dots, X_n) \leq b_i$ donde las funciones $g(X)$ $h_i(X)$, $X = (X_1, \dots, X_n)$ son de cualquier forma.

La función que se va a optimizar, Z , se conoce como la función objetivo. Las restricciones de la forma \leq pueden cambiarse a la forma \geq si se desea, multiplicando ambos lados de la desigualdad por -1 . Físicamente este problema puede interpretarse como uno de dos clases: Maximizar la producción para un presupuesto dado o minimizar el costo satisfaciendo un nivel de producción o ciertos estándares requeridos. El modelo de programación lineal no está restringido solamente a tales problemas.

Las técnicas de programación matemática toman ventaja de la capacidad de las computadoras digitales para ejecutar cálculos simples muy rápido. En comparación con las técnicas clásicas del cálculo se sustituyen procedimientos sofisticados y algunas veces análisis intratables por otros más simples aunque laboriosos. Se utilizan dos estrategias fundamentales. La primera es utilizar algún procedimiento de ir por la ruta de mayor pendiente similar al de análisis marginal: este es el utilizado en programación lineal. La segunda es enumerar implícitamente si no exhaustivamente todas las combinaciones probables de las variables y seleccionar la mejor: Esta es la ruta tomada en programación dinámica así como en programación lineal. De una u otra manera la programación matemática es esencialmente un procedimiento de búsqueda iterativo con un conjunto de reglas para reconocer la optimalidad cuando se logra.

Cada una de las técnicas de programación matemática tiene algún conjunto particular de hipótesis sobre la naturaleza de la función objetivo que se va a optimizar y sus restricciones. Estas hipótesis simplifican la búsqueda del óptimo haciendo posible aplicar algunas rutinas especiales en el cómputo. Como puede suponerse las técnicas más rápidas y más



VINERIAS NACIONALES
AVIACION

2

poderosas (por ejemplo programación lineal) son las que tienen algunas de las hipótesis mas fuertes. Debido a que cada una de las técnicas de programación matemática está asociada con un conjunto particular de suposiciones no pueden aplicarse indiscriminadamente a los problemas. La técnica matemática elegida para cualquier estudio de Ingeniería de Sistemas deberá ajustarse a la configuración actual del problema.

FORMULACION DE PROGRAMACION LINEAL

La programación lineal puede atacar el problema de programación matemática siempre que las restricciones y el objetivo sean funciones lineales de variables continuas y por lo tanto definan espacios convexos factibles. Esto significa que la programación lineal puede ser empleada para optimizar un amplio rango de problemas prácticos de asignación de recursos. Este concepto central de linealidad tiene un significado matemático preciso y es necesario explicarlo. Una función $f (X) = f (X_1, \dots, X_n)$ es lineal si para todas las variables X_j y constantes K_j .

$$f (K_1 X_1 + \dots + K_n X_n) = K_1 f (X_1) + \dots + K_n f (X_n)$$

esta condición puede denotarse en dos aseveraciones equivalentes. Primera una función lineal exhibe rendimientos de escala constantes. $f (KX_1, \dots, KX_n) = K (f (X_1, \dots, X_n))$ La programación lineal por consiguiente no es aplicable a situaciones donde existen costos fijos. La restricción sobre rendimientos de escala constante puede ser significativa en situaciones prácticas. La combinación de recursos para sistemas de gran escala frecuentemente exhiben rendimientos de escalanolineales. Esta dificultad puede evitarse utilizando una extensión de programación lineal conocida como programación

separable cuando los rendimientos de escala son decrecientes.

Segundo, una función lineal debe ser aditiva $f (X_1 + \dots + X_n) = f (X_1) + \dots + f (X_n)$

en la práctica esto significa que la contribución de cada variable X_j no depende de la presencia o ausencia de las otras. Este concepto puede ilustrarse mejor con un ejemplo. La producción de becerros como una función del número de toros y vacas claramente no es aditiva:

$$Z (becerros) = G (toros, vacas) \neq g (toros) + g (vacas)$$

Los toros y las vacas de manera separada no producirán becerros. Las situaciones no aditivas pueden ocurrir frecuentemente en la práctica de tal manera que se deberá tener cuidado de verificar que todas las variables en un programa lineal sean aditivas, la linealidad es la hipótesis fundamental de programación lineal. La función objetivo y las restricciones deben ser lineales. Las restricciones lineales necesariamente definen una región factible convexa donde la convexidad implica que no existen hoyos en la región factible (es decir, una línea que conecta dos puntos cualquiera de la región está totalmente en la región). La combinación de la región factible convexa y la función objetivo lineal implica que cualquier óptimo local que se encuentre debe ser también el óptimo global.

En programación lineal las variables X_j se suponen que son continuas y no negativas. Ninguna de las dos hipótesis es demasiado limitativa en la práctica. Primero, la suposición que las variables son continuas implica que las realidades físicas no se restrinjan a valores enteros o discretos. Aunque muchos sistemas tácitamente manejan elementos de diseño que pueden ser únicamente enteros -vehículos en una cuadrilla de transporte, terminales o alma



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

cenas en una red de distribución - esta restricción a menudo no elimina el uso de programación lineal. Algunos problemas de programación lineal tienen una estructura especial que garantiza que la solución que se tendrá será entera.

Si los valores óptimos de las variables de diseño son suficientemente grandes y la sensibilidad suficientemente pequeña los errores de redondeo pueden no ser importantes. Segundo, la mecánica de cómputo de programación lineal requiere que todas las variables sean no negativas de manera que se puedan detectar claramente las pendientes negativas al escalar en la función objetivo. Si las variables físicamente aparecen como negativas a menudo es posible redefinirlas para que aparezcan como positivas.

Un problema de programación lineal por consiguiente consiste de tres partes: Una función objetivo, restricciones, y restricciones de no negatividad. Como un ejemplo un problema típico es.

Maximizar

$$Z = 11 X_1 + 4 X_2$$

sujeto a las restricciones

$$3X_1 + 5X_2 \leq 15$$

$$5X_1 + 2X_2 \leq 10$$

con las restricciones de no negatividad.

$$X_1 \geq 0 \quad X_2 \geq 0$$

la función objetivo podría interpretarse por ejemplo como querer obtener la mayor cantidad de carga transportada de una cuadrilla que conste de aviones grandes X_1 y aviones pequeños X_2 los cuales pueden transportar 11 y 4 toneladas respectivamente.

3

Las restricciones podrían indicar que los aviones utilizan una cantidad especificada de alguna instalación limitada. Por ejemplo la segunda restricción podría significar que cada avión grande y pequeño podrían requerir respectivamente la función de 5 y 2 personas en tierra del total de 10 disponibles.

Fundamentalmente las últimas restricciones indican que un valor negativo de las variables no tendría sentido.

Ya que los problemas de programación lineal usados para análisis de gran escala involucran cientos de variables y restricciones generalmente se presentan en forma matricial. Esto evita el esfuerzo tedioso de escribir una cadena larga de ecuaciones. Para los ejemplos dados anteriormente se pueden definir las siguientes funciones algebraicas lineales:

Un vector de capacidades de avión:

$$C = (11, 4)$$

Un vector de aviones $X = (X_1, X_2)$

Un vector de restricciones $B = (15, 10)$

Una matriz de restricciones de utilización:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 5 \\ 5 & 2 \end{bmatrix}$$

El problema de maximización se establece entonces como.

Maximizar $Z = CX$.

Sujeto a las restricciones $AX \leq B$ y $X \geq 0$.

Donde es aparente la simplicidad y economía de la notación vectorial.

Representación gráfica. A fin de indicar cómo la programación lineal opera como un procedimiento de búsqueda de escalar una montaña, el ejemplo se dibujará en tres dimensiones. Esto tiene la ventaja de permitir una comprensión directa del

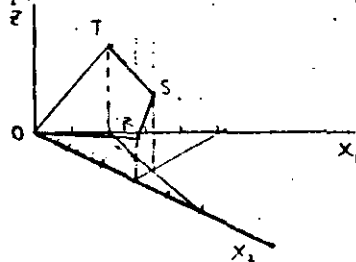


UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENMA

procedimiento formal para resolver programas lineales, esto es, del método simplex.

Es importante estar concientes, sin embargo, que la mayoría de los programas lineales involucran muchas mas dimensiones que las de nuestro ejemplo.

El ejemplo específico se muestra en la figura siguiente:



En esta forma, la producción Z puede verse directamente proporcional al uso del avión X_1 y X_2 . La función de producción en este caso es una superficie lineal que surge del origen $X_1 = X_2 = 0$.

Las restricciones sobre el uso de los aviones están indicadas por las líneas $3 X_1 + 5 X_2 = 15$

$$5 X_1 + 2 X_2 = 10$$

así como por las líneas $X_1 = 0$ y $X_2 = 0$ por las restricciones de no negatividad. El área que satisface todas las restricciones, la región sombreada de la figura, se conoce como la región factible. Como puede observarse, la región factible está acotada por restricciones lineales y por consiguiente es convexa.

Existen propiedades importantes que están asociadas con la región factible. Primero la región factible definida por las funciones lineales tiene un número finito de puntos esquina. Estos se conocen como puntos extremos y están en la intersección de las restricciones. Los puntos extremos están en la región factible y se conocen como soluciones básicas factibles. Siendo

4

si el problema tiene un máximo finito puede comprobarse que debe ser una de las soluciones básicas factibles.

El impacto práctico de estas propiedades es muy importante: las hipótesis inherentes en programación lineal implican que la solución debe ser uno de un número finito de puntos que se encuentran en la intersección de las restricciones. Para la figura esto significa que la solución óptima es uno de los cuatro puntos $O, R, S, \text{ ó } T$ que corresponden a las variables: $(0, 0), (2, 0), (1, 2.4), \text{ ó } (0, 3)$. Estas soluciones potenciales pueden determinarse fundamentalmente con algebra lineal o con la solución de ecuaciones simultáneas.

Estrategia para optimizar. La programación lineal explota totalmente las consecuencias de sus hipótesis básicas. Encuentra la asignación óptima de recursos al través de un examen iterativo de las esquinas de la región factible. El procedimiento consiste, como lo hacen todas las técnicas de búsqueda, de tres elementos: La identificación de una solución base, la generación y explotación de indicadores de la mejor dirección para mejorar y la definición de un criterio para el final del trabajo.

La estrategia de programación lineal por consiguiente es muy simple. En particular los tres elementos del proceso de búsqueda se traducen en los movimientos siguientes:
1) localizar una combinación factible de recursos (la solución factible inicial) y después manipular las ecuaciones de tal manera que se obtenga una solución en un punto extremo (una solución factible básica), 2) determinar la tasa de cambio de la función objetivo de este punto extremo a todos los



VEVENEGAS NACIONAL
AVINMA

5

puntos esquina adyacentes. Seleccionar la tasa mayor como el indicador de la dirección en que deberá cambiarse la solución y proseguir al punto extremo asociado. 3) repetir el paso dos hasta que la tasa de cambio de la función objetivo del punto extremo actual a todas las otras sea desfavorable es decir menor o igual a 0 para una maximización. Se ha obtenido un óptimo local. Para un programa lineal este es también un óptimo global. No puede lograrse ninguna mejora en la función objetivo: luego se ha obtenido la solución óptima.

En términos de la figura el procedimiento puede ser interpretado como: 1) encontrar una solución factible inicial dentro o sobre la frontera del área sombreada y pasar a un punto extremo tal como el representado por el origen 2) encontrar cuál pendiente es mayor OR u OT y definir la solución intermedia siguiente en términos de la combinación de variables representada por RoT; 3) iterar hasta que ninguna mejora adicional en Z sea posible.

Una persona inteligente probablemente podría alcanzar la solución óptima mas directamente que el procedimiento de programación lineal para un problema pequeño como este. Decididamente el óptimo casi es obvio en la figura. Aún en problemas mas complicados uno puede imaginar que podrían evitarse muchas iteraciones aplicando el sentido común. Pero no debemos ser engañados por el atractivo de las soluciones elegantes. Programación lineal como la mayoría de las técnicas matemáticas relevantes en Ingeniería de Sistemas obtiene soluciones de manera mas efectiva usando la velocidad

de la computadora. En el análisis de sistemas de gran escala los procedimientos simples de cómputo a menudo son preferibles a las matemáticas sofisticadas.

La programación lineal es particularmente adecuada para el procesamiento automático porque capacita a los analistas para resolver problemas usando la clase de pasos aritméticos repetitivos que las computadoras digitales tienen la mayor habilidad para ejecutar. De otra manera la programación lineal no se utilizaría con tanta frecuencia a menos que pudiera programarse para una solución automática ya que involucra muchos cálculos tediosos y es una forma relativamente insuficiente para que los seres humanos resuelvan problemas. Decididamente, las diversas técnicas asociadas con programación lineal se han perfeccionado desde 1950 con el desarrollo de la computadora digital.

La programación lineal adicionalmente no solo toma ventaja de la velocidad de la computadora sino también de su mayor memoria. Puede usar esta capacidad para guardar la descripción de problemas grandes con cientos de variables y restricciones. Ahora es común, por ejemplo, utilizar programación lineal para definir el uso óptimo de redes de transporte o la mejor mezcla de actividades. En resumen la programación lineal representa un elemento importante al ampliar los procedimientos ingenieriles con la introducción de las computadoras.

La tabla del simplex $Z_{nueva} = Z_{anterior} + \theta (Z_j - C_j)$



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVELLANÁ

6

X_1	X_2	S_1	S_2	B	V.b.	θ
3	5	1		15	S_1	5
5	2		1	10	S_2	2
-11	-4				$Z_j - C_j$	

3.8	1	6	9	S_1
1	.4	.2	2	X_1
.4			22	

Cada problema de programación lineal está asociado con la formulación de un problema dual. El valor de la solución óptima para un problema primal y dual son idénticos. Las variables en el dual son los precios sombra de las restricciones en el primal. El valor de estos precios sombra en el óptimo indican si es o no deseable obtener más de algún recurso. Las variables de holgura del dual son los costos de oportunidad de las variables en el primal; indican la penalización involucrada por usar soluciones no óptimas.

BIBLIOGRAFIA:

De Neufville and Stafford. "Systems Analysis for Managers and Engineers". Mc. Graw Hill, 1971.

Jauffred, Moreno y Acosta "Técnicas de Optimización: Programación Lineal, Gráficas" Rep. y Serv. de Ingeniería, 1971.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ANALISIS DE DECISIONES

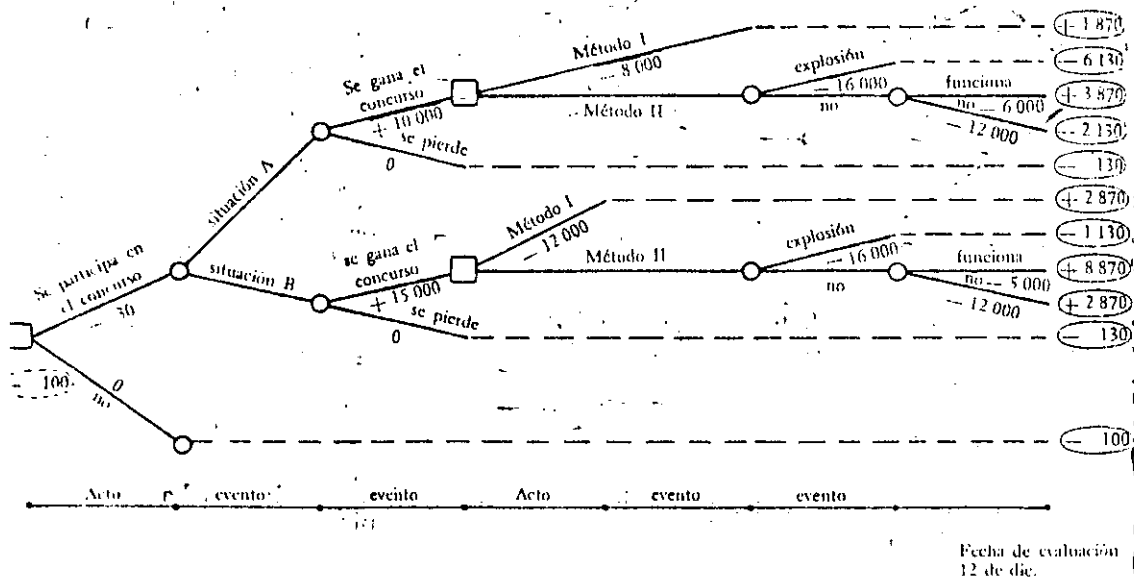
DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES

NOVIEMBRE, 1984

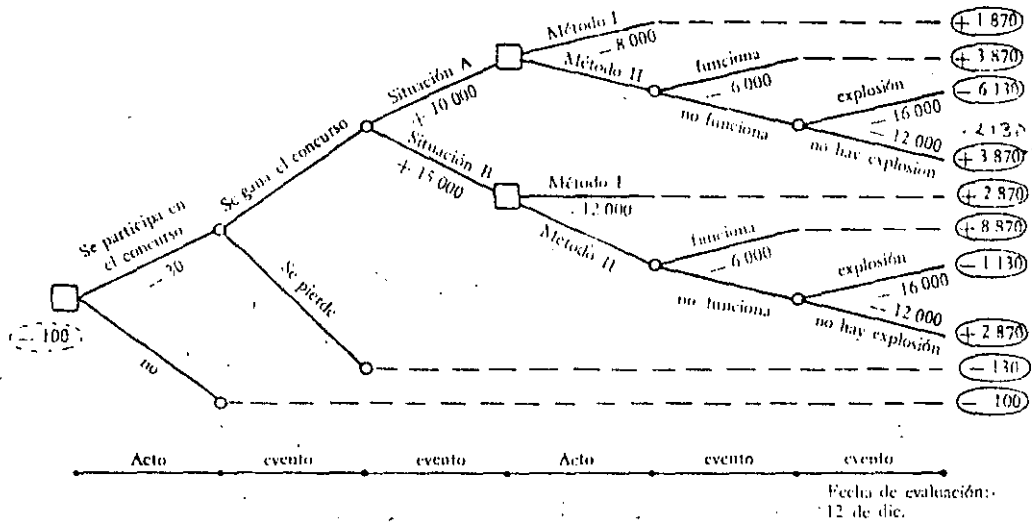
Problema de participación en un concurso

La Cía. Lette debe decidir si entra o no a un concurso para la obtención de un pedido importante. El costo para la elaboración del presupuesto es de \$ 30 000, cantidad que no será reembolsada si se pierde el concurso. Se piensa que como resultado del estudio se conocerá si se está en la situación A o en la B. Si es la A, el presupuesto que se presentará será de 10 millones de pesos, si no, el presupuesto será de 15. Si se gana el concurso habrá que seleccionar el método de manufactura que puede ser el I o el II. El método I tiene la seguridad que funciona y su costo es de 8 millones si se tiene la situación A y de 12 si es la B. El método II no depende de cuál sea la situación que se tenga, y si funciona bien costará 6 millones. El problema es que puede ocurrir una explosión, en cuyo caso el costo se elevará a 16 millones; aun cuando no haya explosión puede ser que no funcione, debiéndose subcontratar con un costo total de 12 millones.

a) Considerando el 12 de diciembre del año en curso como la fecha de evaluación, el capital líquido neto como el criterio de evaluación y el capital inicial igual a -\$ 100 000 dibuje el diagrama de decisión y evalúe monetariamente los puntos terminales.



b) Al comparar el diagrama anterior con el siguiente, se nota que son iguales exceptuando que los puntos de incertidumbre están cambiados. Se pregunta ¿ambos diagramas son equivalentes?



La respuesta es sí porque en cualquier punto de decisión, en ambos diagramas se tienen los mismos eventos a su izquierda, aunque no en el mismo orden, y lo mismo puede decirse con los eventos que están a la derecha. De lo anterior podemos concluir que los eventos en un diagrama de decisión pueden intercambiarse siempre y cuando no exista entre ellos un punto de decisión y que los puntos de decisión también pueden intercambiarse si entre ellos no existen puntos de incertidumbre.

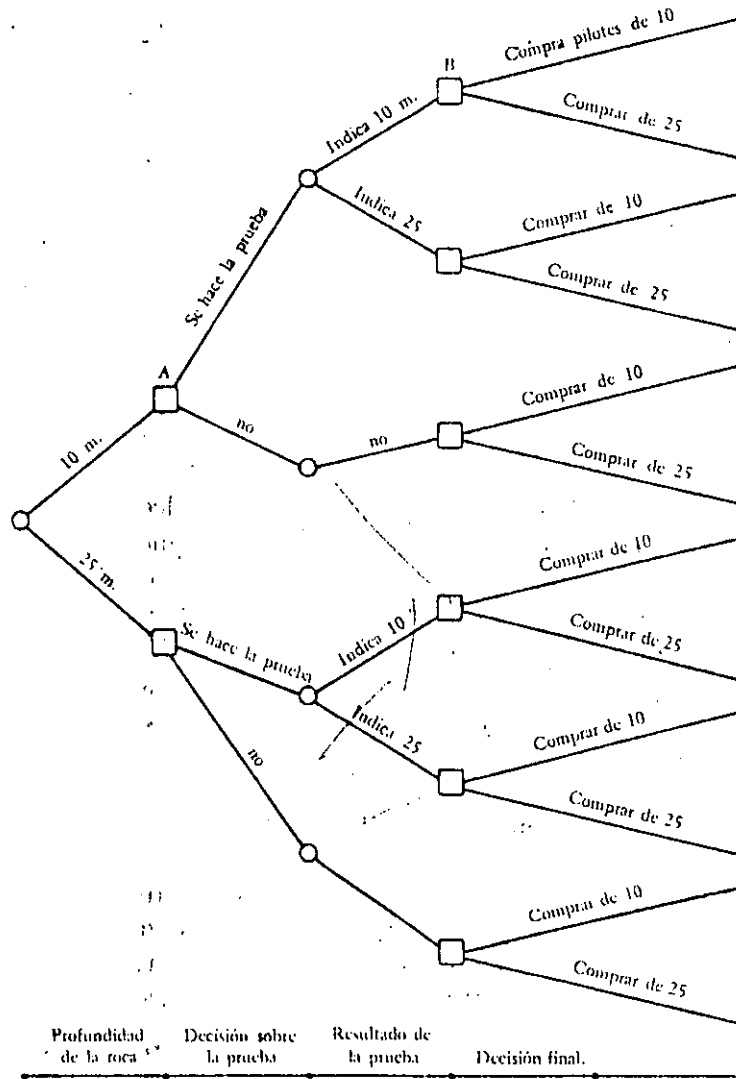
Problema de la longitud de pilotes

El gerente de la Cía. ICASA debe decidir la longitud de los pilotes que va a comprar para la cimentación de una obra que tiene contratada. Esta decisión dependerá de la profundidad a la que se encuentre la roca, la cual puede ser de 10 metros o de 25.

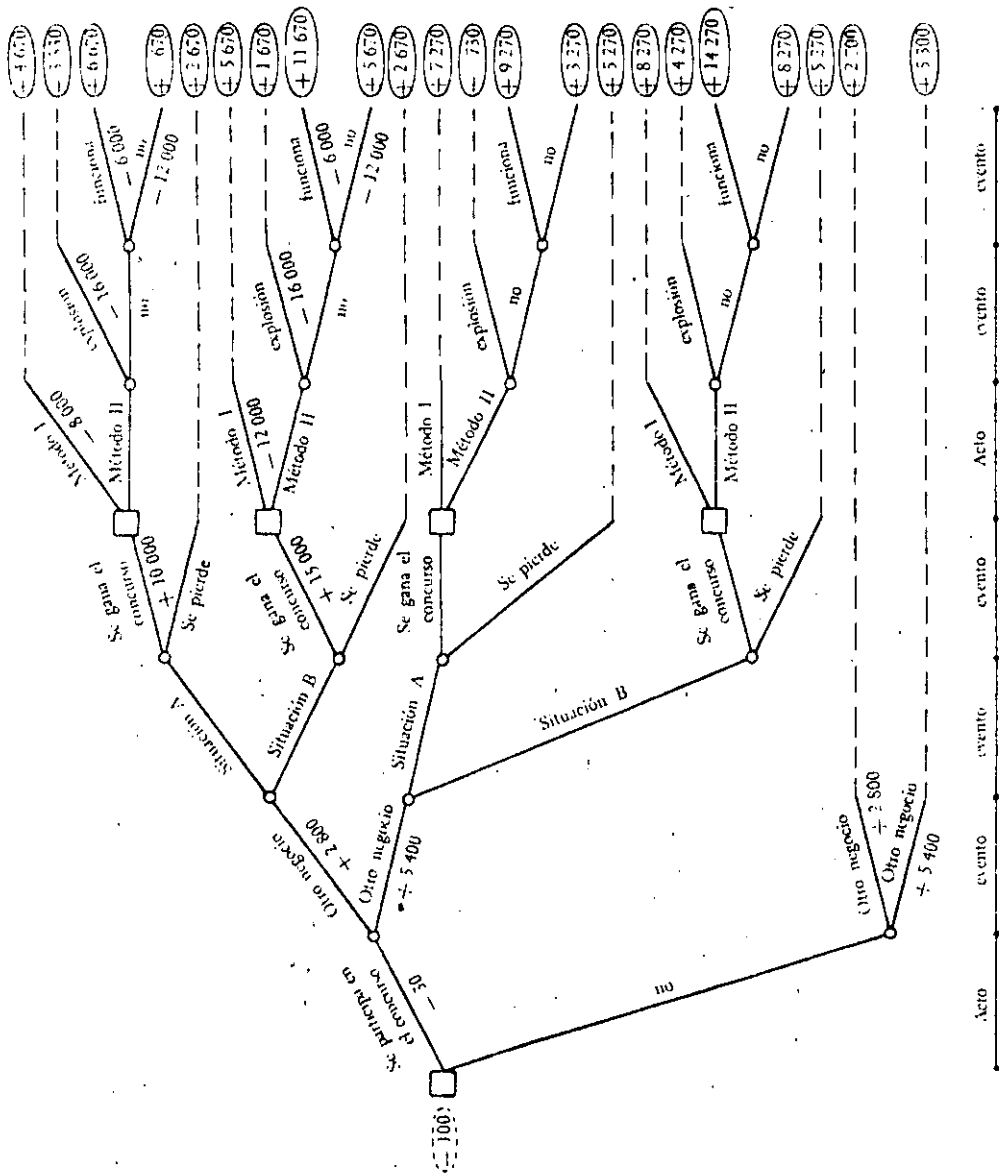
En vez de decidir inmediatamente él puede sujetar el terreno a una prueba que le dará una indicación de la profundidad, aunque esta indicación no puede aceptarse con seguridad absoluta.

Para ayudarle a decidir el gerente llama a un miembro joven

del grupo de análisis de operaciones de ICASA y le explica el problema. Después de varias horas el analista regresa con el diagrama siguiente:



y le dice: "He representado las cosas que pueden suceder en el orden en que ellas acontecen. La profundidad a la que está la roca



7

es de 10 o de 25 metros; la prueba no puede cambiar esta profundidad. Por supuesto, la prueba no es infalible, luego no existe la certeza para comprar pilotes de 10 o de 25 metros".

¿El problema del gerente está correctamente representado por este diagrama?

La contestación es no. En el punto de decisión A, el diagrama indica que ya se conoce la profundidad de la roca, 10 metros, por estar situado este evento a la izquierda de A, lo cual no se cumple en la realidad. Lo mismo sucede en el punto B. Luego no es suficiente con que ocurra un evento antes que se tome una decisión para colocarlo en la trayectoria a la izquierda del punto de decisión, sino que es necesario que el decisor en el momento de tomar la decisión conozca el resultado de dicho evento.

3. FLUJO CONTEXTUAL

Flujo contextual es aquel que sin estar asociado directamente con el problema actual del decisor afecta el valor del criterio que él ha seleccionado en su fecha de evaluación.

Suponga que en el problema de la participación en un concurso la Cía. Lette está participando en otro negocio que le podrá proporcionar 2 800 o 5 400 miles de pesos y que el resultado lo conocerá antes de seleccionar el método de manufactura. Este es un ejemplo de flujo contextual y siempre deberá estar incorporado al diagrama de decisión en el lugar que le corresponda.

Normalmente uno, para no modificar el diagrama, al darse cuenta que existen flujos contextuales que deberán ser considerados en él, se ve tentado a dibujarlos en los puntos terminales, lo cual será correcto sólo en el caso que el conocimiento del resultado del flujo contextual se tenga al final, si no es así será incorrecto y un diagrama equivocado siempre conducirá a decisiones erróneas.

1. INTRODUCCION

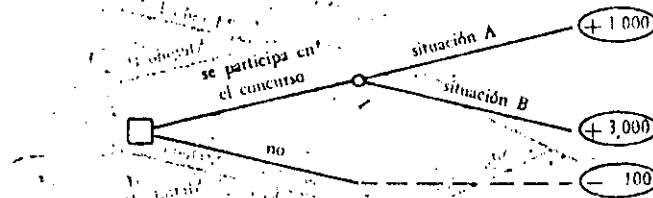
En este capítulo se analizará un problema considerando exclusivamente el aspecto monetario; los no monetarios se estudiarán en el capítulo 5. También se supondrá en todo el libro que existe un solo decisor y que está perfectamente determinado.

Los pasos para analizar un problema son:

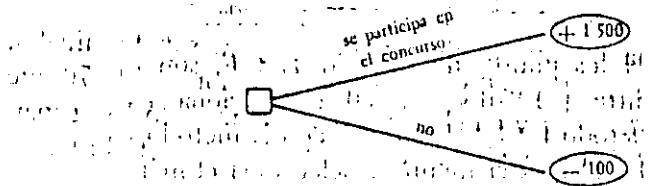
1. Selección de la fecha de evaluación.
2. Criterio de evaluación.
3. Diagrama de decisión.
4. Evaluación en los puntos terminales.
5. Descomposición del problema, y determinación de los equivalentes bajo certeza, y
6. Selección de la mejor estrategia.

El problema que se analizará será el de participación en un concurso que se vio en el capítulo anterior, donde se seleccionó como fecha de evaluación el 12 de diciembre, como criterio el capi-

Sustituyendo lo anterior en el diagrama queda:



Se le vuelve a pedir el equivalente bajo certeza en el punto I. Supóngase que el decisor dice + 1 500. Luego el diagrama es:



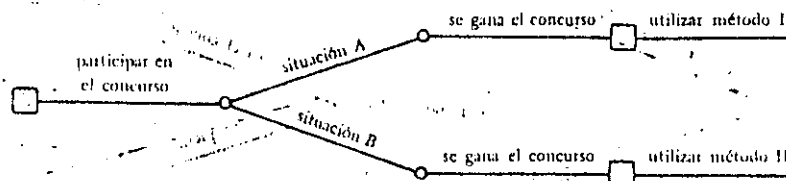
La selección final será entre ganar + 1 500 si se participa en el concurso o perder 100 si no. La decisión por tanto es participar en el concurso.

Selección de la mejor estrategia

En primer lugar se da la definición de estrategia.

Estrategia es una regla que prescribe exactamente qué acto deberá ser seleccionado en cada punto de decisión que se puede presentar.

Así en nuestro ejemplo la solución corresponde a la estrategia: Participar en el concurso; si ocurre la situación A presupuestar 10 millones de pesos y si se gana el concurso utilizar el método I; si la situación B es la que sucede presupuestar 15 millones y si se gana el concurso emplear el método II.



3. HIPÓTESIS Y SIGNIFICADO DEL RESULTADO

Hipótesis I. Existe un solo decisor.

Hipótesis II. Los únicos actos y eventos inciertos que el gerente de la Cía. Lette piensa que se deben considerar son los mostrados en el diagrama.

Por ejemplo, pudiera ser que el costo de participar en el concurso no fuera de \$ 30 000 sino una cantidad entre 25 000 y 35 000, en cuyo caso se estaría violando la hipótesis II. Pero aún si esta segunda hipótesis no se cumple, esto no invalida la metodología, lo único que cambiará será el diagrama de decisión pero se continuará con la descomposición utilizando los mismos pasos a) y b).

Significado del resultado

1. Se ha mostrado que las decisiones que se han tomado para determinar los equivalentes bajo certeza implican que se debe preferir el acto participar en el concurso al de no participar. Pero otro decisor con preferencias diferentes puede tener otros equivalentes bajo certeza que pueden cambiar la decisión final. No es posible concluir que uno está bien y el otro equivocado. Los dos están tomando su mejor decisión.

2. Puede suceder que el decisor al considerar el problema complejo, sin descomponer, nos diga: "De acuerdo con mi experiencia la decisión, sin importar lo que Ud. haya encontrado, debe ser no participar en el concurso". Nosotros no podemos decirle "Ud. va a tomar la decisión incorrecta" ya que nuestro análisis no nos permite concluir eso. Lo único que conocemos en este punto es que existe una inconsistencia entre la decisión que desea tomar y las que tomó en cuanto a equivalentes bajo certeza. Es una situación semejante a la de una suma donde nos presentan

$$3 + 5 + 4 = 10$$

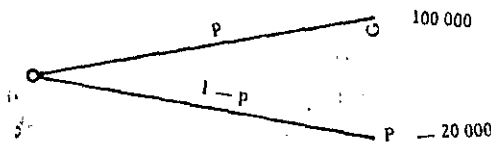
conocemos que existe un error, pero no podemos decir cuál de los cuatro números es el equivocado. En esta situación lo que se debe hacer es pedirle al decisor que considere nuevamente la determinación de sus equivalentes bajo certeza (quizá algunas de sus respues-

tas fueron un poco a la ligera). Si después de este análisis exhaustivo aún continúa la inconsistencia lo único que se le puede decir es que tendrá que tomar una decisión sobre dónde tiene él más confianza si en el problema original con toda su complejidad o en la descomposición donde se analizaron problemas más simples.

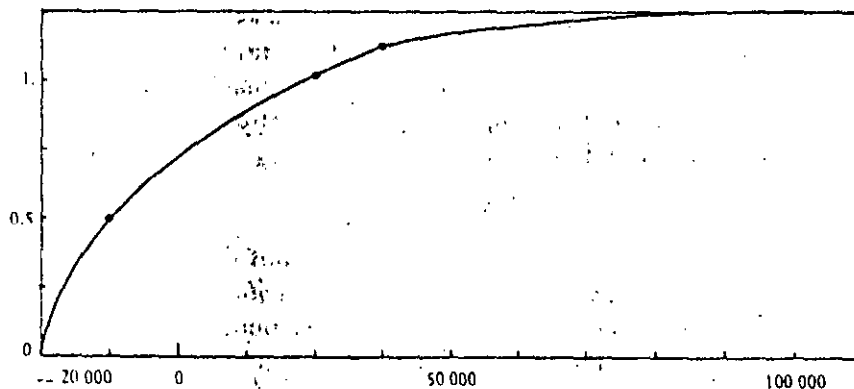
4. CURVA DE PREFERENCIA PARA EL CALCULO DE EQUIVALENTES BAJO CERTEZA

Curva de preferencia

Considérese una lotería donde con probabilidad p puede ocurrir que se ganen \$ 100 000 y con $1 - p$ se pierdan \$ 20 000.



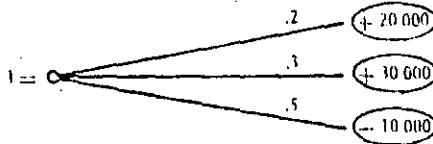
Si $p = 1$ el equivalente bajo certeza de la lotería anterior será igual a 100 000. Si $p = 0$ el equivalente será de $- 20 000$. Para valores intermedios de p se le pregunta al decisor cuál es su equivalente bajo certeza. De esta manera se tiene una correspondencia entre equivalentes bajo certeza y valores de p . Esta cantidad p se conoce como preferencia y efectivamente mide ésta para cualquier valor intermedio entre 100 000 y $- 20 000$.



La curva de la figura se conoce como de preferencia (o de utilidad).

Cálculo del equivalente bajo certeza

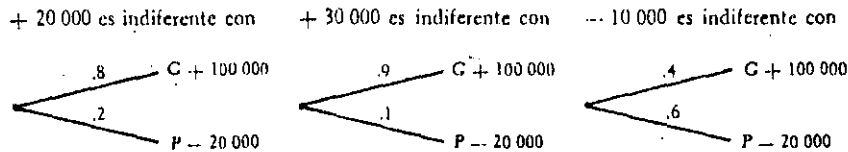
Suponga que desea calcular el equivalente de la lotería siguiente



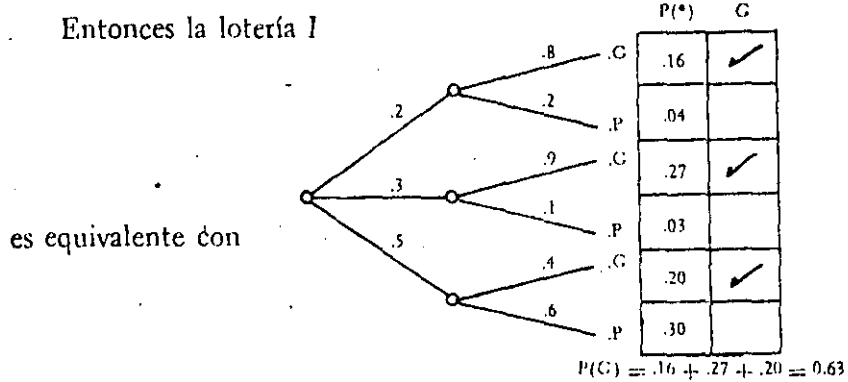
los números .2, .3 y .5 son las probabilidades respectivas de 20 000, 30 000 y - 10 000.

Conoce además que la curva de preferencia del decisor es la mostrada en el inciso anterior.

De la curva se conoce que

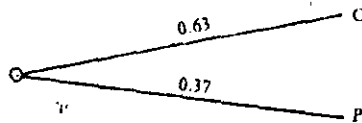


Entonces la lotería I



es equivalente con

luego la anterior es equivalente a



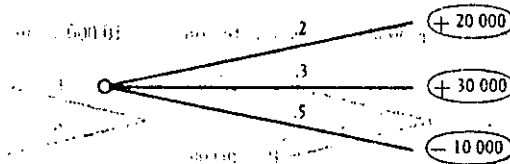
que yendo a la curva corresponde bajo certeza con + 2 000.

De esta manera se concluye que para la lotería *l* su equivalente bajo certeza es \$ 2 000.

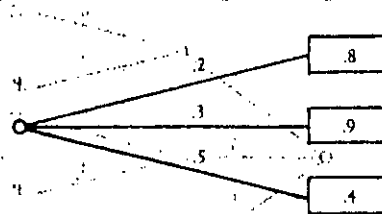
Método para el cálculo del equivalente bajo certeza para una lotería

- 1) Sustitúyanse los valores terminales por su preferencia correspondiente.
- 2) Calcúlese la preferencia de la lotería que es la preferencia esperada.
- 3) En la curva determínese el valor que corresponde a la preferencia de la lotería y ese será su equivalente bajo certeza.

En el ejemplo anterior



i) Sustituyendo los valores por sus preferencias queda



ii) la preferencia esperada es igual a $.2 \times .8 + .3 \times .9 + .5 \times .4 = .63$

iii) De la curva de preferencia el equivalente bajo certeza de la lotería es igual a 2 000.

De este capítulo se puede concluir que para analizar un problema es necesario el cálculo de los equivalentes bajo certeza. Para determinar los equivalentes se debe contar con las probabilidades

I. PROBABILIDAD

Una medida de la incertidumbre es la probabilidad, así, la probabilidad de un evento es un número que indica la posibilidad de que ocurra dicho evento.

Debe cumplir con los tres axiomas siguientes.

Axioma 1. Las probabilidades son siempre números mayores o iguales que cero.

Axioma 2. La probabilidad que ocurra un conjunto formado por eventos mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos es uno.

Eventos mutuamente exclusivos son aquellos en los que si ocurre uno excluye la ocurrencia de cualquier otro. Eventos colectivamente exhaustivos son aquellos que en su conjunto abarcan todos los eventos o resultados posibles.

Axioma 3. Si se tienen los eventos A y B mutuamente exclusivos, la probabilidad que ocurra A , B o ambos es igual a la probabilidad de A más la probabilidad de B .

Léase probabilidad condicional de A_i dado B). Aquellos que sí tienen puntos en común (la intersección no está vacía) tendrán como probabilidad nueva el cociente que resulta al dividir la probabilidad de la intersección entre la probabilidad del evento condicionante. Así en la figura anterior:

Evento	Intersección con B	$p(\text{Intersección})$	Probabilidad condicional
A_1	No existe	0	$p(A_1/B) = 0$
A_2	A_2B	$p(A_2B)$	$p(A_2/B) = p(A_2B)/p(B)$
A_3	A_3B	$p(A_3B)$	$p(A_3/B) = p(A_3B)/p(B)$

Independencia

Se tiene un evento A cuya probabilidad se conoce, $p(A)$. Se sabe también que ocurrió el evento B y se calcula la probabilidad condicional de A , $p(A/B)$, se comparan y se encuentra que son iguales, $p(A) = p(A/B)$; esto indica que la ocurrencia de un evento no influye en la posibilidad de ocurrencia del otro, es decir, son independientes.

Ejemplo

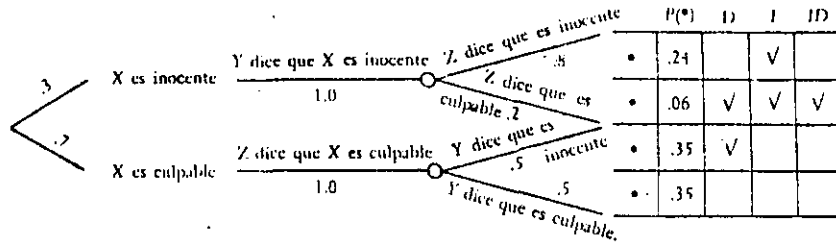
El Sr. X con probabilidad 0.7 puede ser culpable del fraude en la compra de barcos pesqueros por el que se le está enjuiciando.

Las personas Y y Z conocen su culpabilidad o inocencia y han sido llamados como testigos. El Sr. Y es amigo del Sr. X y dirá la verdad si él es inocente pero mentirá con probabilidad de 0.5 si es culpable. El Sr. Z es enemigo del Sr. X y dirá la verdad si es culpable pero mentirá con probabilidad de 0.2 si es inocente, debido a que existe un castigo por perjurio.

a) ¿Cuál es la probabilidad que los dos testigos estén en desacuerdo?

b) ¿Cuál es la probabilidad que X sea inocente dado que Y y Z estuvieron en desacuerdo?

a) El diagrama de eventos es el siguiente:



Evento D: los testigos están en desacuerdo.

Evento I: X es inocente.

$$p(D) = .06 + .35 = .41$$

$$b) p(I/D) = p(ID)/p(D) = .06/.41 = .14$$

Como $p(I) = .3$ es diferente que $p(I/D)$ concluimos que los eventos I y D no son independientes, además si el juez tiene la información que los testigos estuvieron en desacuerdo puede dictaminar su fallo con mayor confianza.

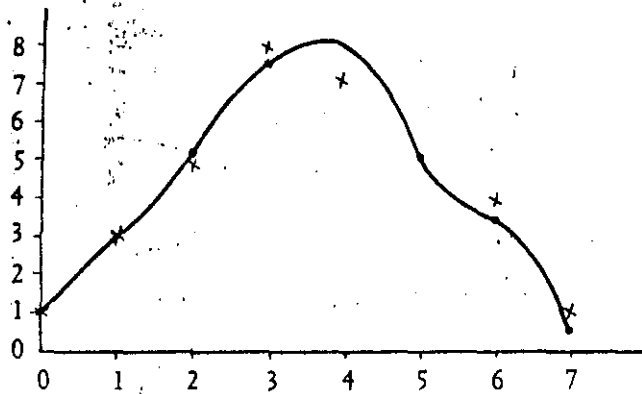
2. EVALUACION DE PROBABILIDADES

Número suficiente de datos

Se desea determinar la probabilidad de la demanda que va a tener un producto para la semana siguiente. Se tiene la información que se muestra:

Número de artículos	Número de días en los que se ha vendido esa cantidad de artículos
0	2
1	3
2	5
3	8
4	7
5	0
6	4
7	1
8 o más	0

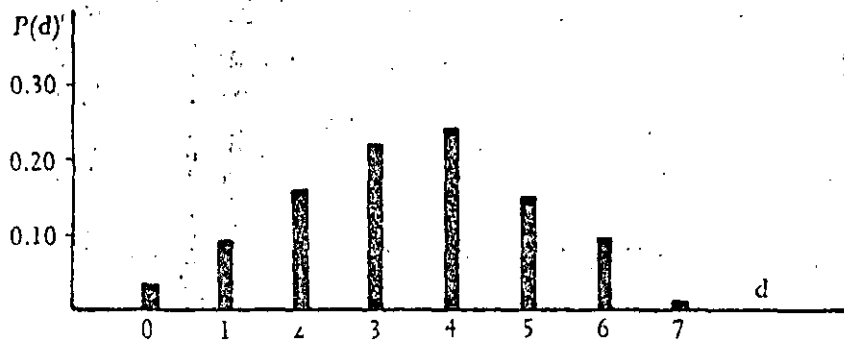
Graficando se tiene:



Se investiga si existe alguna razón especial por la que una demanda de cinco artículos no pueda ocurrir, si no existe se traza una curva. Se leen los valores de la curva y para obtener la probabilidad se divide cada lectura entre la suma de ellas.

Número de artículos	lectura en la curva	probabilidad
0	1	0.03
1	3	0.09
2	5.5	0.16
3	7.5	0.22
4	8	0.24
5	5	0.15
6	3.5	0.10
7	0.5	0.01
		34.0

Gráficamente



El valor esperado es igual a la suma de los productos de los valores que toma la cantidad incierta por su probabilidad respectiva.

El valor esperado de la demanda en este caso es $E(d) = 0 \times 0.3 + 1 \times 0.09 + 2 \times 0.16 + 3 \times 0.22 + 4 \times 0.24 + 5 \times 0.10 + 6 \times 0.10 + 7 \times 0.01 = 3.35$.

Número insuficiente de datos

Ahora el registro tiene muy pocas observaciones, por lo que ya no es posible utilizar el método anterior. Supóngase que ahora la información es:

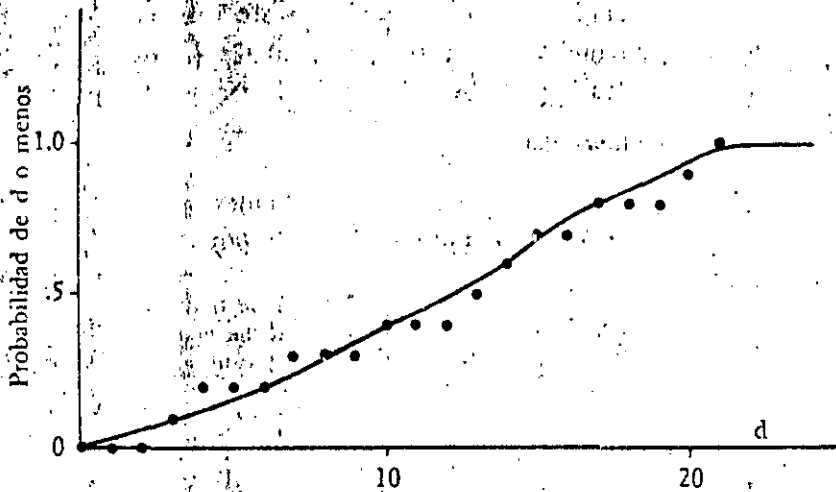
Número de artículos	Número de días en los que se ha vendido esa cantidad
3	1
4	1
7	1
10	1
13	1
14	1
15	1
17	1
20	1
21	1

En este caso hay que obtener primero la frecuencia relativa acumulada.

Demanda = d	Frecuencia relativa de d	Frecuencia relativa de d o menos
0-2	0	0
3	.1	.1
4	.1	.2
5-6	0	.2
7	.1	.3
8-9	0	.3
10	.1	.4
11-12	0	.4
13	.1	.5
14	.1	.6
15	.1	.7
16	0	.7
17	.1	.8
18-19	0	.8
20	.1	.9
21	.1	1.0

26

Gráficamente



Se le ajusta una curva y ésta será la distribución de probabilidad acumulada.

Evaluación de probabilidades utilizando la opinión de expertos

En este punto es conveniente recordar la anécdota del astronauta que iba a viajar a Marte y preguntó cuál era la probabilidad que la nave que lo iba a llevar funcionara bien y le contestaron que 0.99 (99 de 100 ocasiones funcionaría de manera adecuada). Le pareció bien pero pidió que se hiciera una prueba con un cohete similar antes de enviarlo a él. El aparato espacial al pasar la estratósfera tuvo un pequeño desperfecto y cayó en el mar. El sugirió una nueva prueba. En ella el aparato se estrelló con un satélite que iba pasando. Exigió una tercera prueba y el aparato ni siquiera despegó sino que explotó. Después de tener conocimiento de esto no hubo poder humano que convenciera al astronauta para hacer el viaje.

La probabilidad de éxito de la nave inicialmente era 0.99, después de la primera falla posiblemente fue 0.75, después de la segunda tal vez 0.5 pero después de la tercera fue cero. La proba-

bilidad es algo subjetivo que cambia en cuanto se tiene nueva información. No se trata de algo objetivo que cambia sólo si los componentes físicos cambian ya que la nave no sufrió ningún cambio.

Una probabilidad es subjetiva en el sentido que dos personas razonables pueden asignar diferentes probabilidades al mismo evento. Esto no significa que la asignación será arbitraria. Las personas hacen esta asignación basadas en la experiencia que han tenido y cuando dos personas razonables han tenido más o menos la misma experiencia sus probabilidades coinciden gruesamente.

Cuando no se tienen datos o no es confiable la información hay que recurrir a personas cuya experiencia sobre los eventos que interesan en nuestro problema de decisión es muy amplia.

Ejemplo 1. Considere que en el problema de participación en un concurso el decisor, quien desea asignar una probabilidad al evento, gana el concurso, siente que existe un experto que conoce más que él sobre los hechos objetivos que deberán considerarse para hacer tal asignación. Le pide que escoja entre dos opciones.

Opción I. Si gana el concurso obtendrá \$ 1 870; si no, perderá \$ 130.

Opción II. En una urna se tienen 99 pelotas rojas y una blanca. Si al sacar una es roja se le darán \$ 1 870 si no, se le pedirán \$ 130.

Si el experto prefiere la opción II es que considera que la probabilidad de ganar el concurso es menor de 0.99.

Ahora se le pide que seleccione entre la opción I y la opción III que consiste en una urna con dos pelotas rojas y 98 blancas. Los premios al sacar una pelota son los mismos que en la opción II.

Si en este caso él prefiere la opción I es porque siente que la probabilidad de ganar el concurso es mayor de 0.02.

Luego $0.02 < p(\text{ganar el concurso}) < 0.99$.

Se le continúan presentando opciones variando la proporción de pelotas, reduciendo así el rango en el que está comprendida la probabilidad, hasta que se determina ella.

Suponga que el experto es indiferente entre poseer la opción I o la VII donde:

Opción VII. Urna con 75 pelotas rojas y 25 blancas. Si sale roja se ganan \$1 870, si no, se pierden \$130.

Entonces $p(\text{ganar el concurso}) = 0.75$ y como ganar el concurso y perder el mismo son eventos mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos, por el axioma 2,

$$p(\text{ganar o perder el concurso}) = 1 \quad \dots(1)$$

Por el axioma 3, $p(\text{ganar o perder el concurso}) = p(\text{ganar}) + p(\text{perder}) \quad \dots(2)$

Teniendo presente (2) en (1)

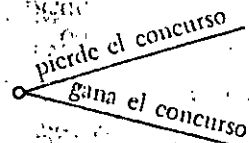
$$p(\text{ganar el concurso}) + p(\text{perder el concurso}) = 1$$

por lo que $p(\text{perder}) = 1 - p(\text{ganar}) = 1 - 0.75 = 0.25$.

En ciertas ocasiones un evento que se prefiere, inconscientemente se le da mayor posibilidad de ocurrir, porque uno desea que suceda. En la evaluación de probabilidades no debe existir esta contaminación, la asignación de probabilidades debe estar separada totalmente de las preferencias.

Una prueba para ver si no existe esta contaminación es cambiar los premios y preguntar si prefiere alguna de las dos opciones que se muestran a continuación:

Opción A



Viaje a Acapulco, todo pagado y boletos para asistir al concurso en que se elegirá Miss Universo.

Tendrá que boxear dos rounds con M. Ali.

Opción B

75 pelotas rojas
25 blancas

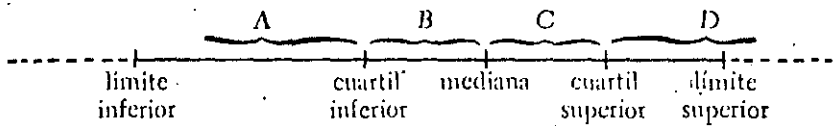
Si sale una pelota roja, usted tendrá que boxear dos rounds con M. Ali.

Si sale blanca tendrá el viaje a Acapulco todo pagado asistiendo a la elección de Miss Universo.

Si nuevamente existe indiferencia entre las opciones A y B, esto indica que no hubo contaminación por preferencias y que las posibilidades están asignadas correctamente.

Ejemplo 2. Se desea determinar la distribución de probabilidad para el costo de producción de cinco mil artículos, que se tendrá dentro de un año.

Se le pregunta al experto en costos cuál es el límite inferior abajo del cual el costo ocurrirá sólo una de cien veces y el superior arriba del cual el costo sucederá también una de cien. Se le piden además los tres valores que dividen el intervalo entre los límites inferior y superior en cuatro intervalos cuya posibilidad de ocurrencia es la misma.

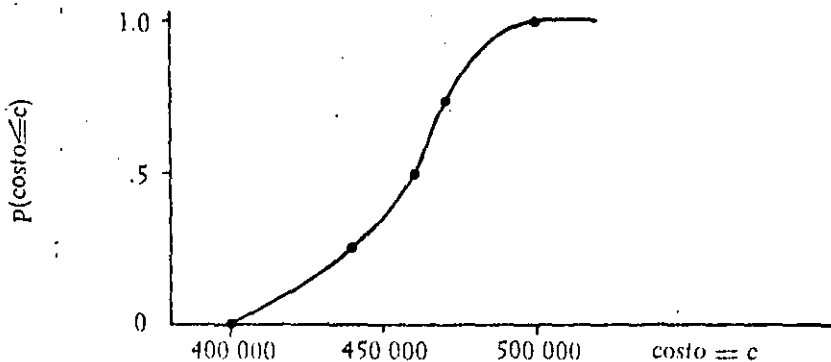


De manera que $p(A) = p(B) = p(C) = p(D) = 0.25$.

Sean estos valores:

	Costo en pesos
Límite superior	500 000
Cuartil superior	470 000
Mediana	460 000
Cuartil inferior	440 000
Límite inferior	400 000

Gráficamente la distribución de probabilidad es:

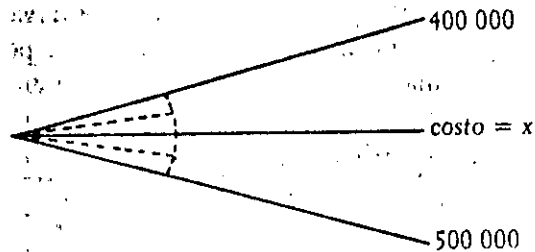


Un punto importante es que las consideraciones de los expertos quedan en forma explícita para análisis posteriores.

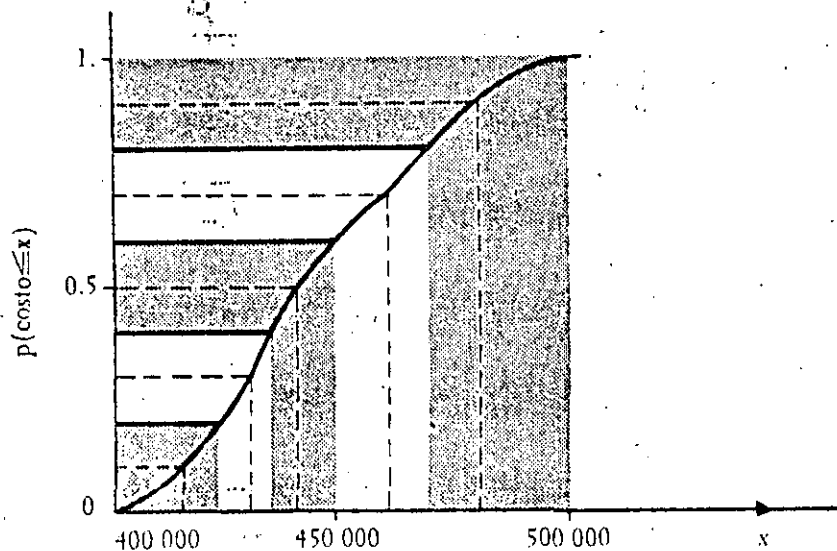
3. APROXIMACION EN EL CALCULO DEL VALOR ESPERADO Y ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Aproximación en el valor esperado

Suponga que se tiene el punto de incertidumbre siguiente:



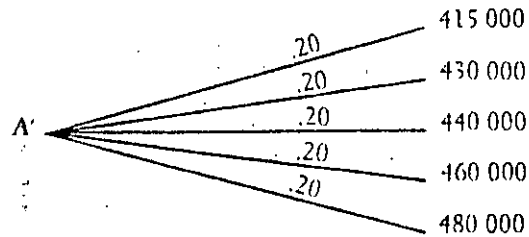
donde la distribución de probabilidad es:



y se desea determinar el valor esperado de x .

Una primera aproximación es considerar que los valores se encuentran agrupados en 5 grupos equiprobables y que el representante de cada grupo (donde están concentrados) es su punto medio.

Así el punto A' se considera como sustituto de A .



Luego el valor esperado de A' es $.2 \times 415\,000 + .2 \times 430\,000 + .2 \times 440\,000 + .2 \times 460\,000 + .2 \times 480\,000 = 445\,000$.

445 000 es una aproximación del valor esperado de A . Por supuesto si en vez de dividir en 5 grupos se divide en 100 o en 1 000 (lo cual puede hacerse utilizando una computadora) mejora notablemente la aproximación.

Análisis de sensibilidad

Hay que tomar en cuenta el hecho que el decisor rara vez tendrá el tiempo suficiente para hacer una asignación de probabilidades muy cuidadosa para todos los puntos de incertidumbre en su problema de decisión. Afortunadamente no es necesario que él haga ello, puede hacer asignaciones tentativas y analizar su problema de decisión con ellas para luego ver dentro de qué rangos las decisiones no cambian y analizar con todo detalle solamente aquellas que son críticas, es decir, donde el rango es muy pequeño.

Ejercicios

3.1 Una persona tiene que tomar la decisión de ir a su trabajo manejando su automóvil o irse en autobús. El supone que el costo de manejar el carro es de \$10.00 y los resultados posibles son:



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DIAGNOSTICO

DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES

NOVIEMBRE, 1984

CADENA CAUSA-EFECTO

GRAN NUMERO DE ENFERMOS

OPCIONES

DISENTERIA

DISTRIBUIR MEDICINAS EN
LA POBLACION

EL AGUA NO ES POTABLE

INSTALAR UNA PLANTA
POTABILIZADORA

LA FUENTE (EL RIO) NO
ES POTABLE

BUSCAR OTRA FUENTE DE
ABASTECIMIENTO

AGUAS ARRIBA LO CONTAMINA
UNA PLANTA METALURGICA

BUSCAR OTRO AFLUENTE PARA
LOS DESECHOS

LA PLANTA METALURGICA NO
POSEE PLANTA DE TRATAMIENTO

QUE INSTALE UNA PLANTA
DE TRATAMIENTO

NO TIENE MEDIOS ECONOMICOS
PARA INSTALARLA

QUITAR LA PLANTA METALURGI-
CA O SUBSIDIARLE UNA PLANTA
DE TRATAMIENTO

CADENA CAUSA-EFECTO DEL PROBLEMA DE DISENTERIA EN EL RIO
BRAVO.

hasta en la elaboración de opciones ya muy concretas como el diseño de una planta potabilizadora. De hecho, este problema puede ser resuelto por un generalista de manera más satisfactoria, ya que el primero con su carácter de especialista concluiría rápidamente que la solución se encuentra en la -- construcción de la planta potabilizadora, olvidándose de las otras opciones, siendo que no necesariamente puede estar en lo correcto. El sistemista observa la cadena causa-efecto -- como un proceso en que cada efecto posee una causa y esta última es efecto de otra causa. El sistemista no corta la cadena arbitrariamente para llegar a una solución, sino que indaga hasta las causas que considera últimas".

Para la determinación de las cadenas causa-efecto es muy útil el enfoque de Dinámica de Sistemas que se presenta a continuación:

5

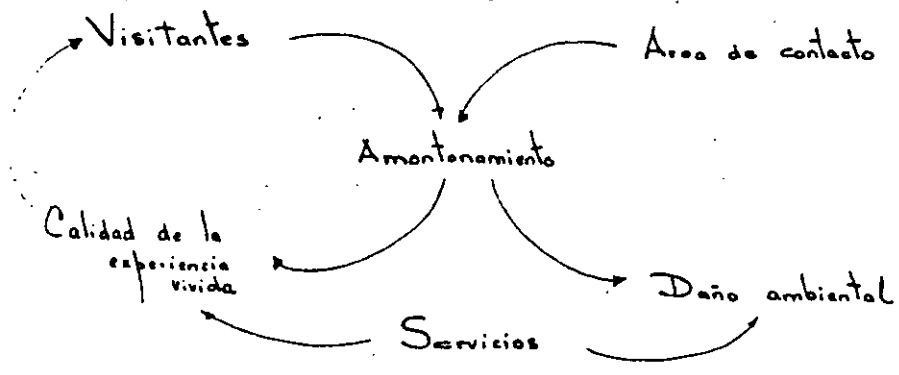
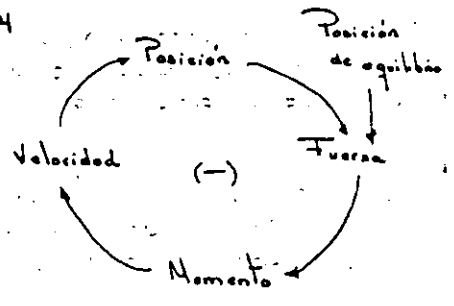
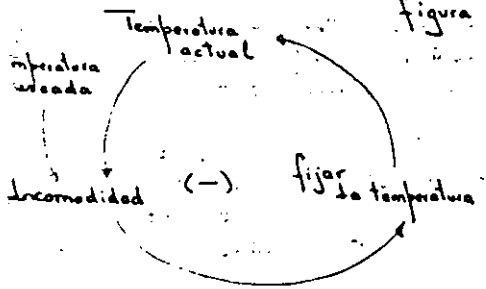
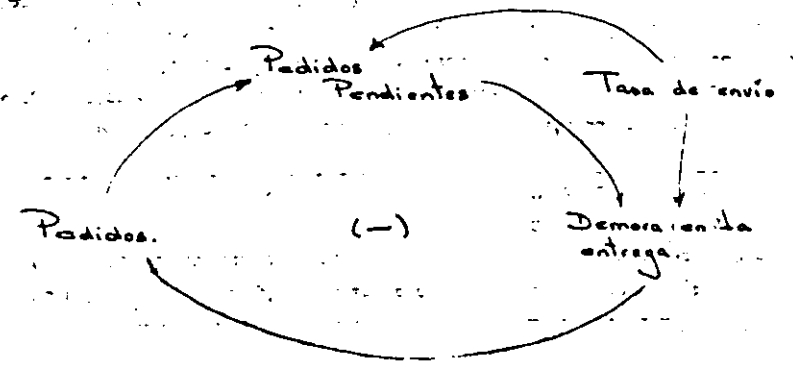


figura N° 1.4



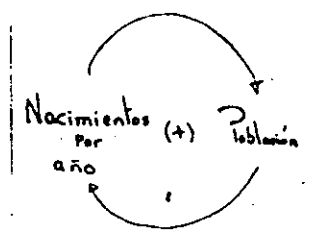
A.- Cobertor eléctrico

B.- Péndulo

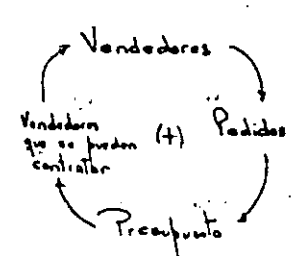


C.- Demora en la entrega de un producto.
figura No 1.5

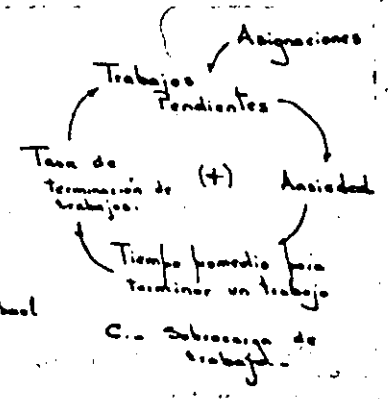
6



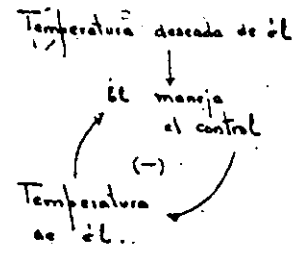
A.- Crecimiento de la población



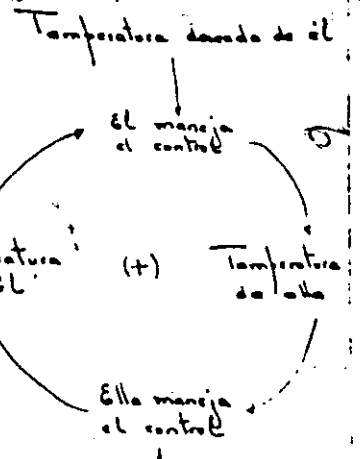
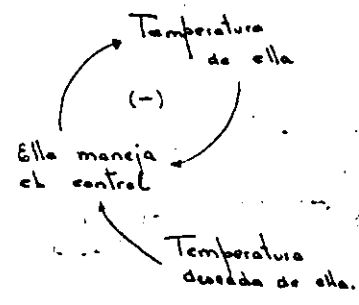
B.- Crecimiento en la fuerza laboral



C.- Subsección de trabajos



A.- Conexión adecuada



B.- Conexión incorrecta

figura N° 1.7

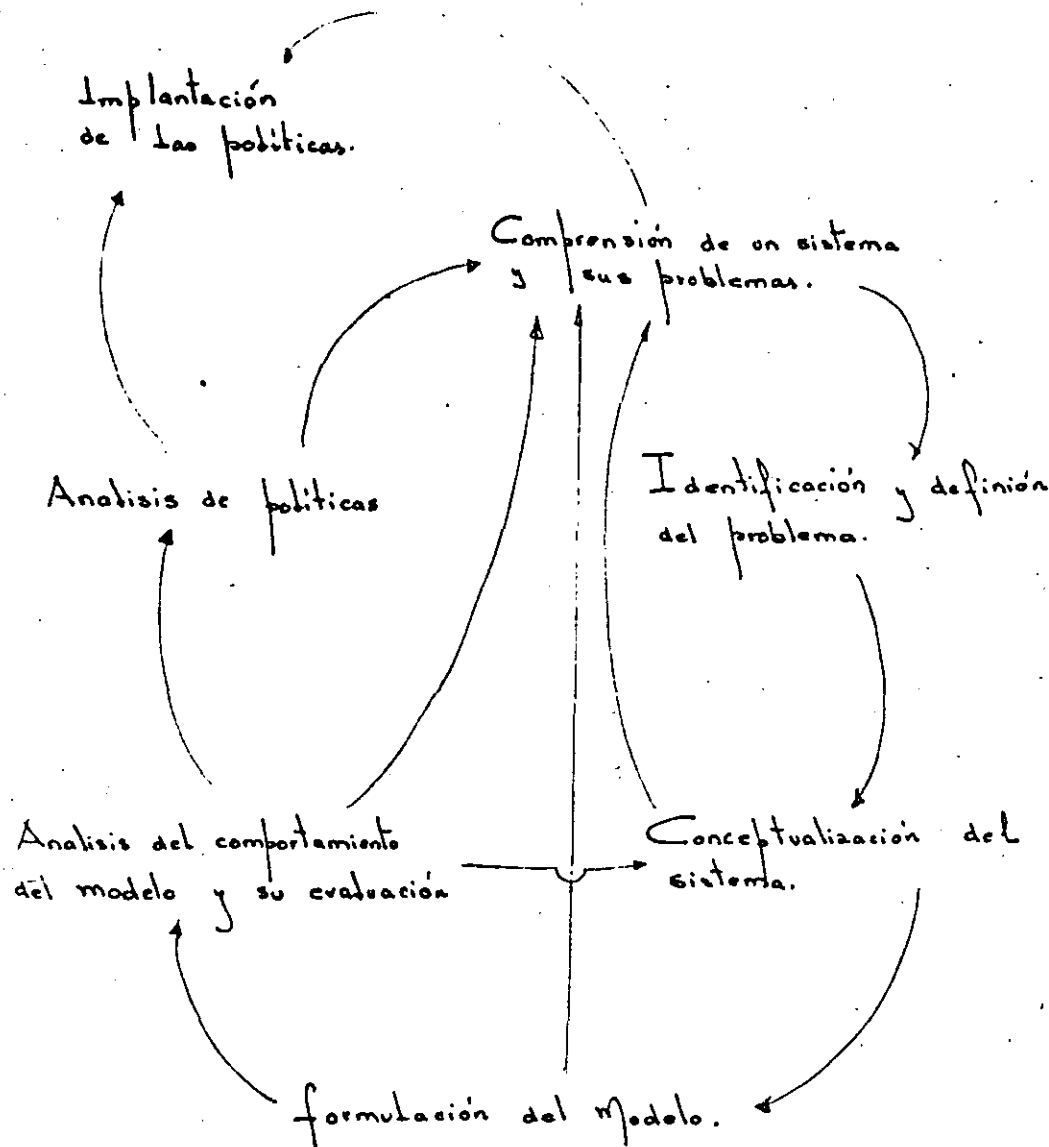


figura N° 1.8

Identificación del problema y conceptualización del sistema.

La identificación del problema y la conceptualización del modelo son las etapas aparentemente menos técnicas de un estudio de Dinámica de Sistemas. Dentro de estas etapas el modelador desarrolla una explicación del contexto y síntomas de un problema, grafica los modos de comportamiento de referencia, articula los propósitos del modelo, establece una frontera del sistema y desarrolla una visión de la estructura del sistema en términos de circuitos de retroalimentación de acción e información. La figura 2.1 resume cómo se ajustan estas etapas, así como las etapas cuantitativas posteriores del proceso de modelado.

A continuación se explica en qué consisten la identificación del problema y la conceptualización del modelo presentándose al final un ejemplo.

2.1. Definición del problema.

La identificación del problema incluye su conocimiento así como su definición sin ambigüedad. Establece verbalmente el contexto y los síntomas del problema. Define dinámicamente al problema en función de sus modos de comportamiento de referencia. Puede haber tres conjuntos de modos de referencia: gráficas que muestran el comportamiento del problema, comportamiento deseable y comportamiento observado.

El contenido del modelo se ve influenciado por el problema que se va a analizar, la audiencia para los resultados del estudio, las políticas con las que uno desea experimentar y la implementación deseada.

2.2. Conceptualización del modelo.

Una explicación clara del propósito del modelo contribuye tanto a la definición del problema como a la conceptualización del modelo.

Para un propósito dado, se deberá definir la frontera. La frontera es la línea imaginaria que separa lo que se considera dentro del sistema y lo que se considera fuera. Abarca el número más pequeño de componentes que es necesario para generar el comportamiento de interés del sistema.

La conceptualización del modelo comienza construyendo éste en áreas funcionales, sectores y piezas simples. Primero se desarrolla la estructura física del sistema, después los flujos de información, seguidos por percepciones y finalmente se enfoca sobre las presiones que surgen de las percepciones que influyen los cambios del sistema.

Buscando la estructura de retroalimentación, el modelador trata de obtener las cadenas de causas y efectos hasta que forman circuitos. La expresión más simple de un circuito es en la forma de un diagrama. En Dinámica de Sistemas son comunes dos clases de diagramas: los causales y los de tasa/nivel.

En los causales se define:



Una liga causal de A a B es positiva si 1) si un cambio en A produce un cambio en B en la misma dirección ó 2) si A le suma algo a B.

Por ejemplo en la figura 2.2. existe una relación directa entre la diferencia y la decisión de servir, luego se trata de una liga causal positiva. Al servir se le suma al nivel del vino. Esta no es una relación proporcional ya que al disminuir la tasa, el nivel del vino no disminuye (a menos que alguien se lo beba) sino que simplemente aumenta con menor rapidez. También es una liga causal positiva.



Una liga causal de A a B es negativa si 1) un cambio en A produce un cambio en B en la dirección opuesta ó 2) A le resta algo a B.

Un circuito de retroalimentación es positivo si contiene un número par de ligas causales negativas (figura 2.3).

Un circuito de retroalimentación es negativo si contiene un número non de ligas causales negativas.

Los diagramas de tasas y niveles muestran las variables donde se presentan acumulaciones, por ejemplo, el vino se acumula en una copa cuando se vierte en ella. Las figuras 2.4, 2.5 y 2.6 exhiben tres ejemplos.

2.3. Un ejemplo de definición y conceptualización del problema.

Un problema común en los proyectos son los desbordamientos: exceso de costo, la necesidad de contratar y entrenar personal adicional en medio del proyecto, e ir más allá del tiempo programado.

Para la definición del problema se presentan los modos de referencia de comportamiento en las gráficas de las figuras 2.7, 2.8 y 2.9.

En la figura 2.7 se presenta el comportamiento deseado, en la 2.8 los desbordamientos en personal y tiempo programado y en la 2.9 el progreso actual y el percibido.

Propósito del modelo. Vamos a suponer que nuestros clientes son los responsables de la administración de proyectos grandes y que desean alguna guía para prevenir o minimizar los desbordes. El modelo deberá ser una herramienta que permita a nuestros clientes experimentar con políticas para mejorar la administración de los proyectos.

Frontera del sistema. El propósito del modelo indica que éste deberá enfocar sobre los aspectos que potencialmente están dentro del control de las personas en el proyecto, por ejemplo:

- definición del proyecto (actividades que se van a ejecutar)
- personal.
- productividad.
- tiempo extra
- avances
- correcciones
- percepción de horas-hombres requeridas
- programa
- alteraciones en el programa
- costos
- estructura de retroalimentación.

En las figuras 2.10 a 2.17 se muestra el desarrollo de esta estructura.

Etapas

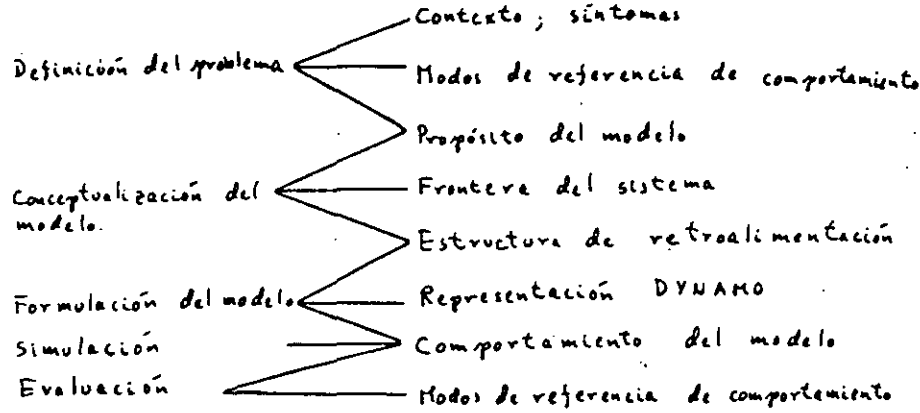


Figura 2.1: Etapas en el proceso de modelado en Dinámica de sistemas.

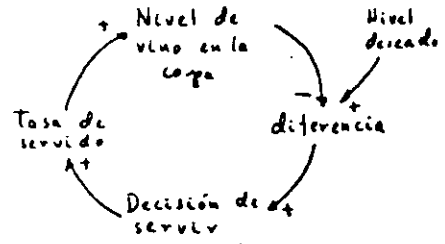


Figura 2.2

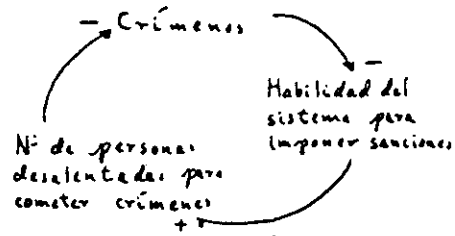


Figura 2.3

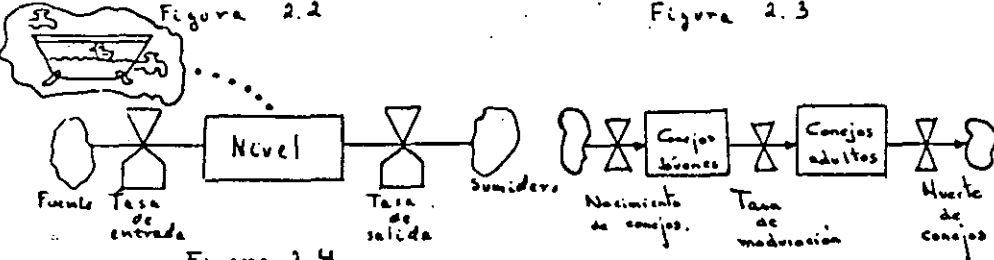


Figura 2.4

Figura 2.5

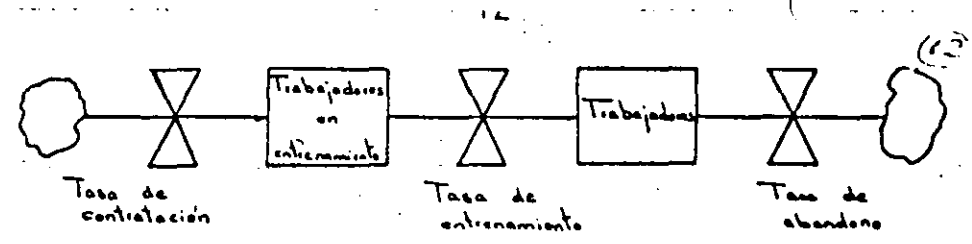


Figura 2.6

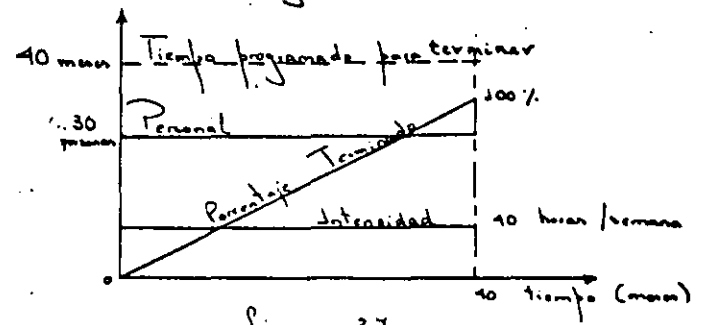


Figura 2.7

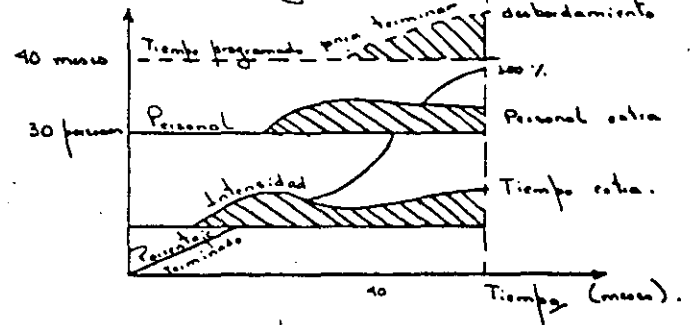


Figura 2.8

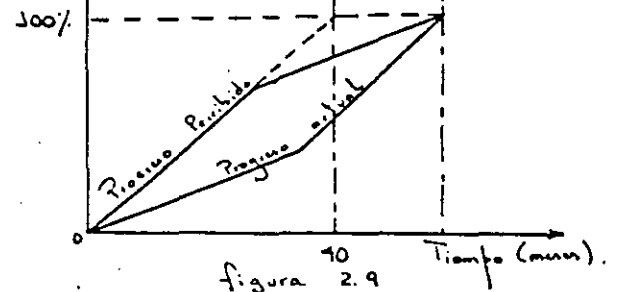


Figura 2.9

3.- UN EJEMPLO

Veremos el ejercicio descrito en Goodman (2) sobre un problema de control de calidad.

Descripción del problema en la Cía. "Electrónica del Futuro".

La Cía. "Electrónica del Futuro" es una empresa de tamaño medio que produce una línea de circuitos integrados.- Debido a los procedimientos de producción tan delicados que se tienen, solo son utilizables del 30 al 50% de los artículos producidos. Por consiguiente, todas las unidades producidas deben probarse antes de venderse.

La gerencia está preocupada por su imagen de calidad. Han estado escuchando de sus clientes aseveraciones tales como "En general estamos muy satisfechos con su calidad y los consideramos como uno de nuestros proveedores de más alta calidad, pero estamos molestos por algunas de las variaciones -- que ocurren. Muy a menudo recibimos de Uds. un envío pobre. Esto crea una interrupción de nuestra producción y nos vemos forzados a encontrar un proveedor cuya calidad sea más estable aunque lo mejor de él no sea tan bueno como el de Uds." - Aunque los clientes no son siempre tan claros, "Electrónica del Futuro" ha notado que a veces sus clientes le regresan - muchas unidades defectuosas aunque otras veces muy pocas.

La gerencia es muy sensible a esta situación y al notar que aumentan las quejas y las devoluciones contratan más personal para aumentar la eficacia del procedimiento de prueba. Basan su decisión de contratar en el número de personas empleadas actualmente para hacer las pruebas y en la frecuencia de quejas.

El procedimiento de prueba es muy difícil y requiere varios meses de entrenamiento, aunque algunas personas aprenden más rápido que otras. Las personas en entrenamiento no prueban partes que se enviarán fuera, ya que no se desea tomar el riesgo que probadores sin experiencia dejen pasar unidades malas. Las personas nuevas son entrenadas por los empleados experimentados. Un probador experimentado asignado al entrenamiento de una nueva persona pasa la mitad de su tiempo en esta capacitación.

"Electrónica del Futuro" lleva la política de no des pedir probadores, sino dejar que el abandono natural reduzca un exceso aparente. Después de estar totalmente entrenado - un probador permanece en la Cía. un promedio de tres años.

11

La demanda del producto está obligando que la duración de la prueba de una unidad dependa del volumen de producción. La Cía. no conoce mucho sobre las políticas de sus clientes, pero siente que a los clientes les toma una cantidad considerable de tiempo determinar la calidad de las unidades que reciben.

a).- Estudie la situación descrita y haga un enunciado conciso del problema o comportamiento que su modelo deberá explicar. Identifique tales factores como demoras o políticas administrativas que, en su opinión, podrían causar este comportamiento.

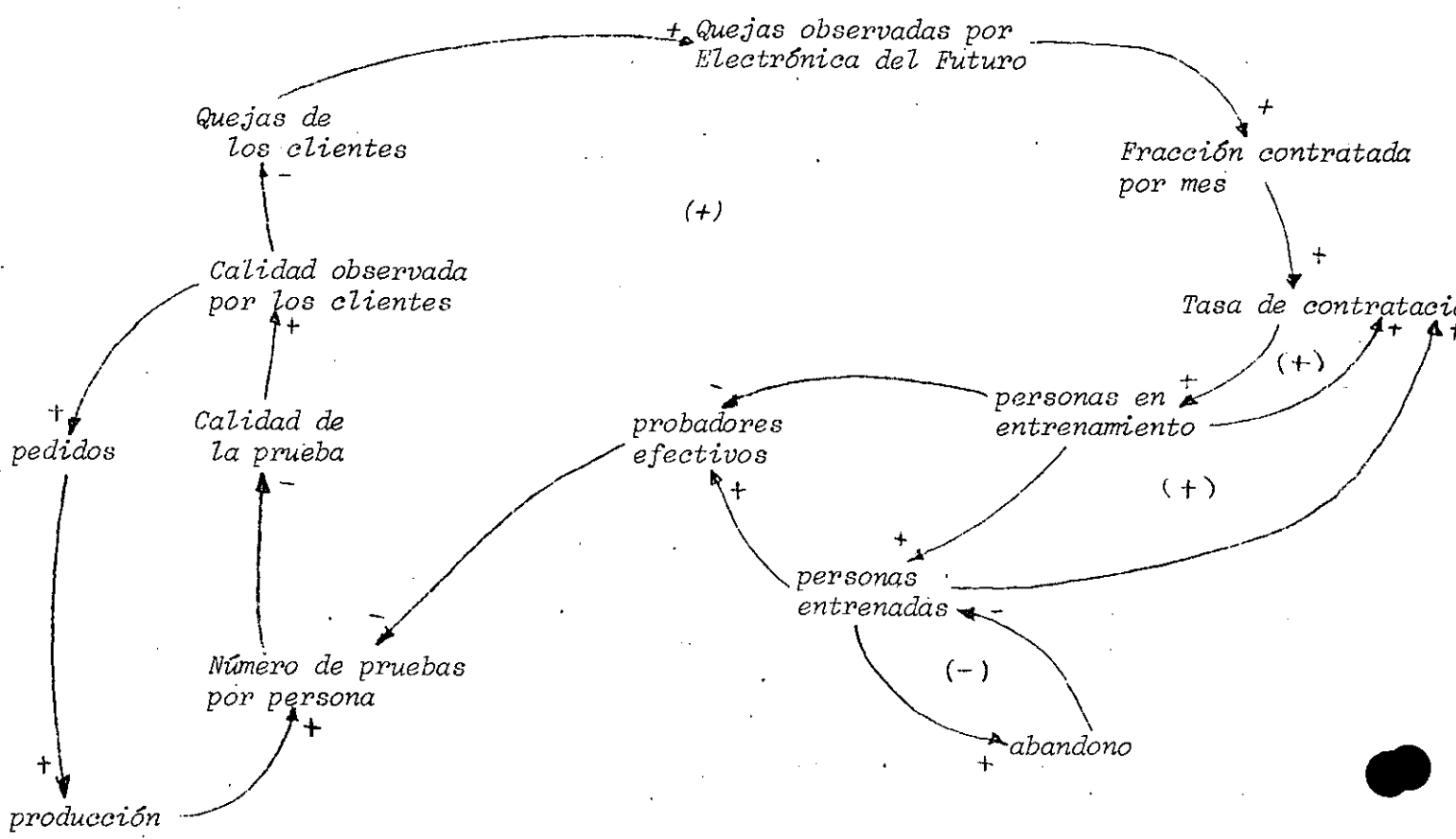
Respuesta.

Enunciado del problema e hipótesis. Parece que los clientes tienen sentimientos mezclados sobre la calidad de los productos de "Electrónica del Futuro". Durante algunos períodos los clientes regresan muchas unidades defectuosas, mientras que otras veces regresan muy pocas.

Lo anterior implica que un buen modelo deberá mostrar una tendencia hacia las fluctuaciones en la calidad de los procedimientos. Cuando el número de pruebas por persona aumenta debido a un incremento en los pedidos baja la calidad observada. Después de alguna demora se contratan probadores adicionales. El aumento en el entrenamiento, sin embargo, reduce incidentalmente el número de probadores efectivos ya que las personas con experiencia deben ayudar a entrenar. Este esfuerzo incrementado de entrenamiento reduce adicionalmente la calidad observada. Sin embargo, después que termina el entrenamiento, el número de pruebas por persona disminuye y aumenta la calidad observada.

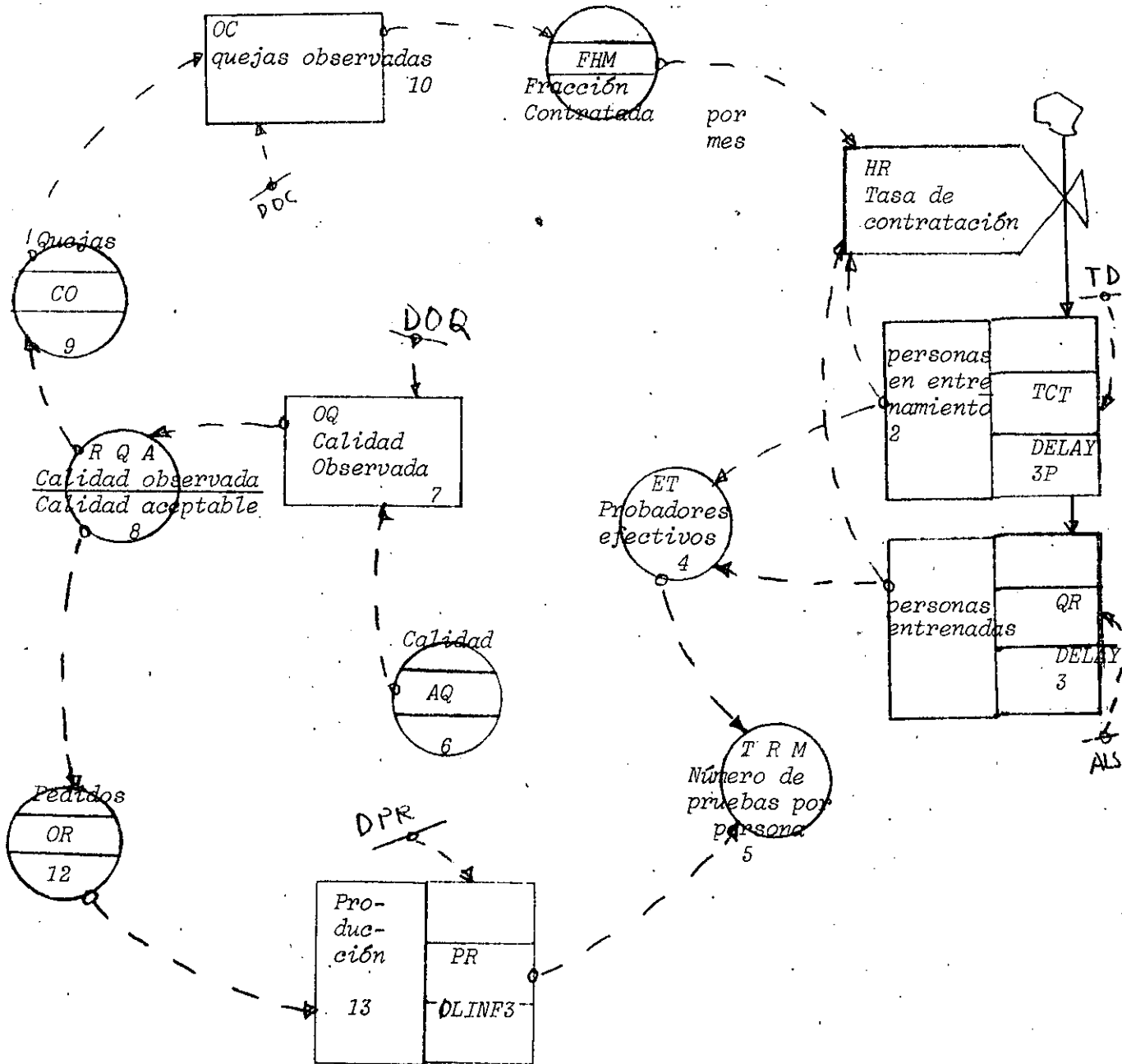
b).- Desarrolle un diagrama causal basado en el análisis anterior.

Respuesta.



c).- Del diagrama causal construya un diagrama de niveles-tasa.

Respuesta.



MODELO DE LA CIA ELECTRONICA FUTURO

NOTE: FRACCION CONTRATAJA POR SES
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO (MONO)
NOTE: TI-PROBADORES (BOMBES)

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

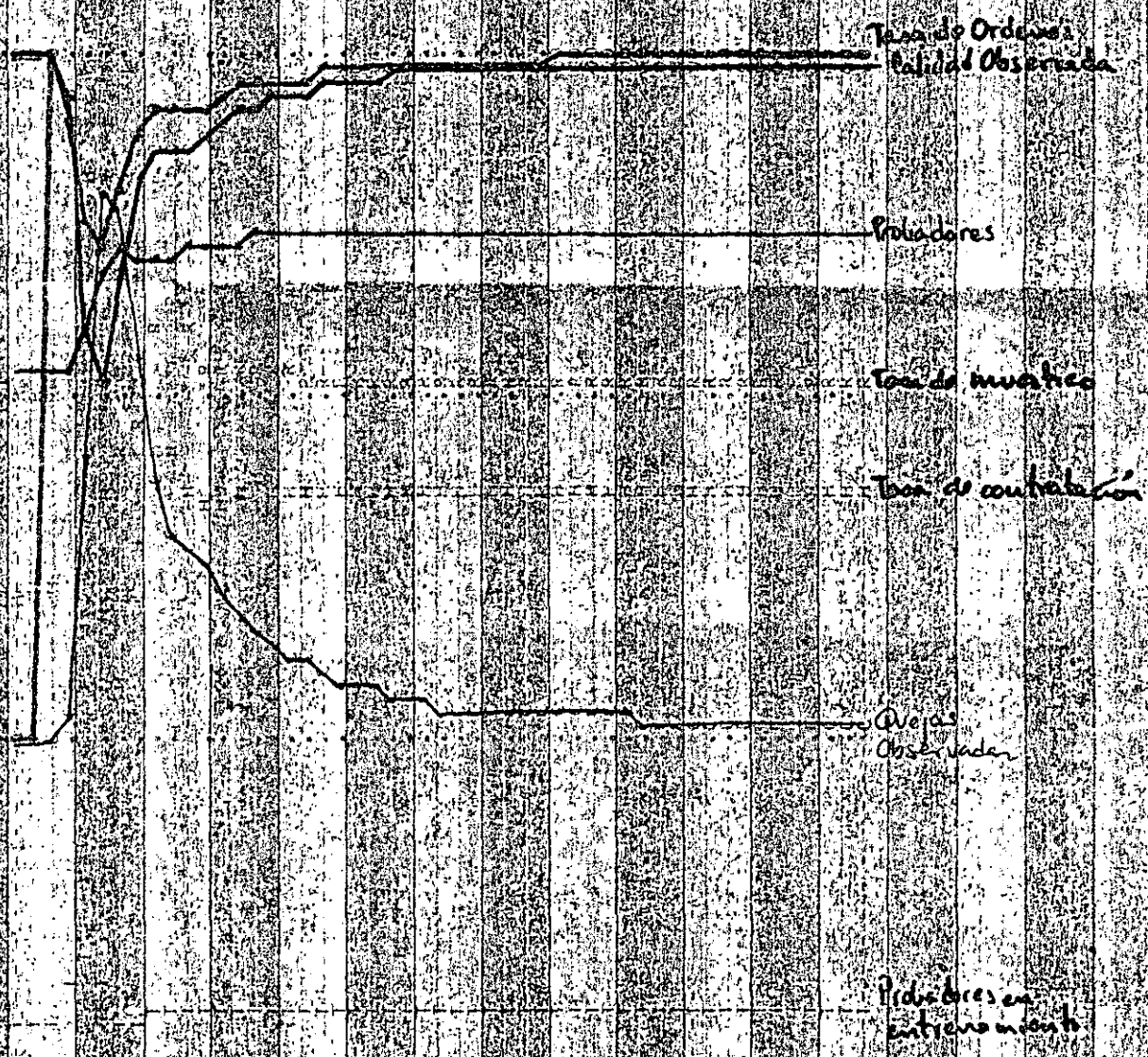
NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

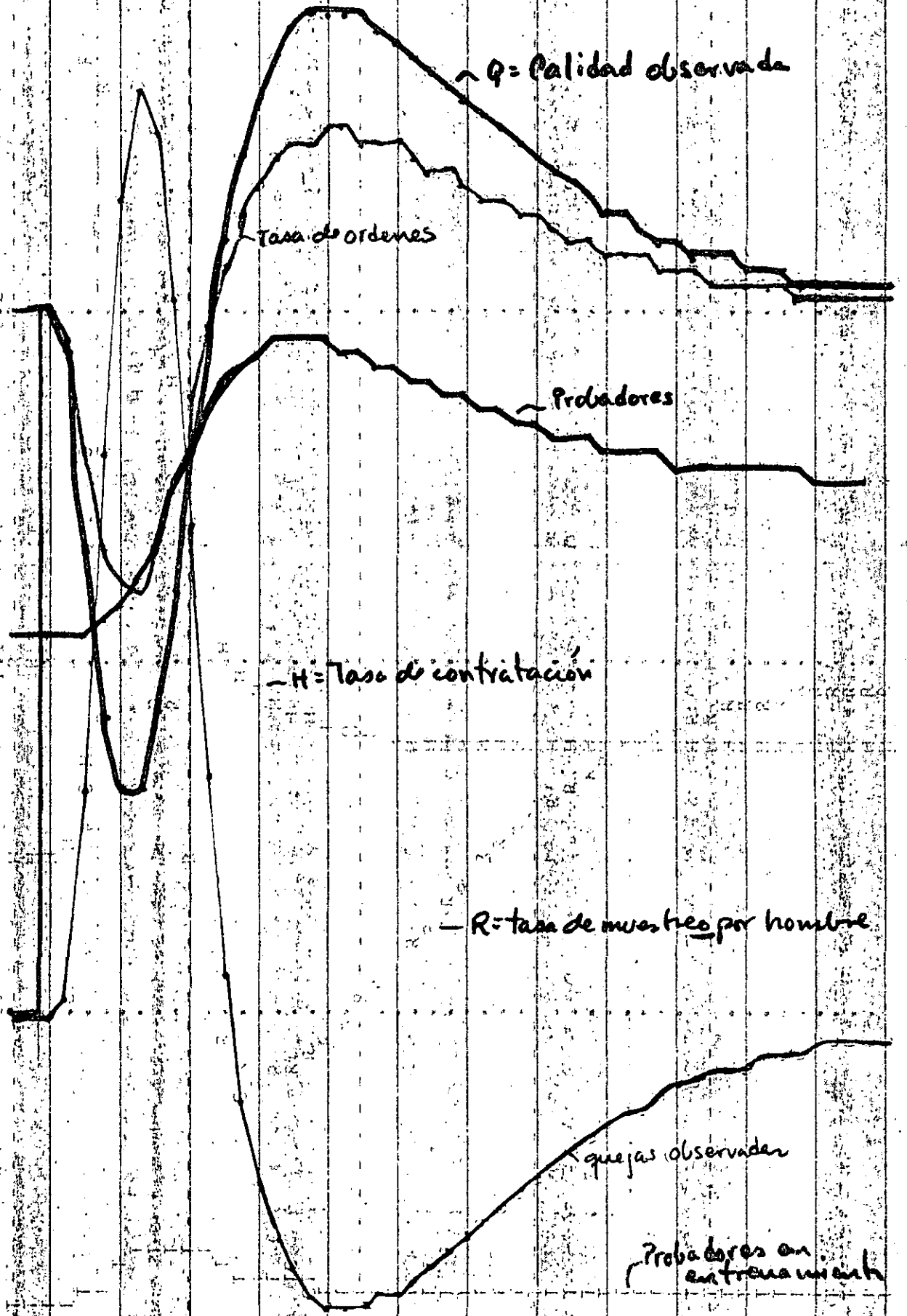
NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO

NOTE: DELAY (PERK/ST/CR)
NOTE: TI-PROBADORES EN ENTRENAMIENTO



MODELO DE LA CIA ELECTRONICA FUJIAN 10/20/72
 FUJIAN
 FUJIAN
 FUJIAN



PAGE 1 MODELO DE LA CIA ELECTRONICA FUTURO 10/20/82

MODELO DE LA CIA ELECTRONICA FUTURO

RE: HR=KL (FHR,K) (TT,K) (Y)

NOTE: HR=20/69

NOTE: HR=TASA DE CONTRATACION (HOMBRES/MES)

NOTE: HR=FACTOR DE INSTALACION POR MES

NOTE: TT=PROBABLES DE ENTRENAMIENTO (HOMBRES)

NOTE: Y=PROBABLES DE (HOMBRES)

RE: TGT, KL=DELAY (HR, JK, TD, TT, K)

NOTE: TD=3

NOTE: TGT=PROBABLES DE ENTRENAMIENTO

NOTE: TD=TIEMPO DE FORMACION DE UN EMPLEADO

NOTE: JK=KL=DELAY (TGT, JK, ALS, I, K)

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

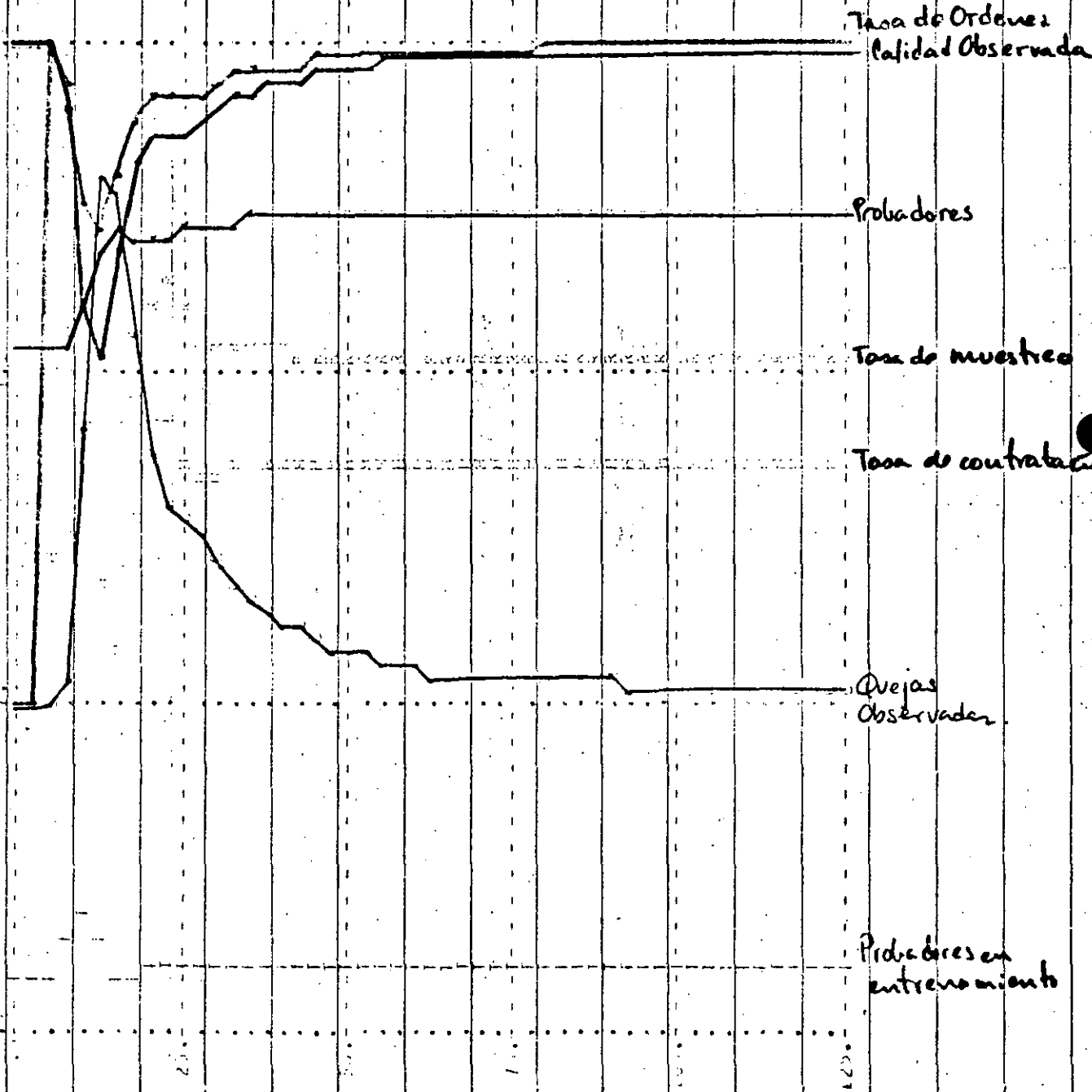
NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE: ALS=PROBABLES DE TIEMPO EN SERVICIO



Tasa de Ordenes
Calidad Observada

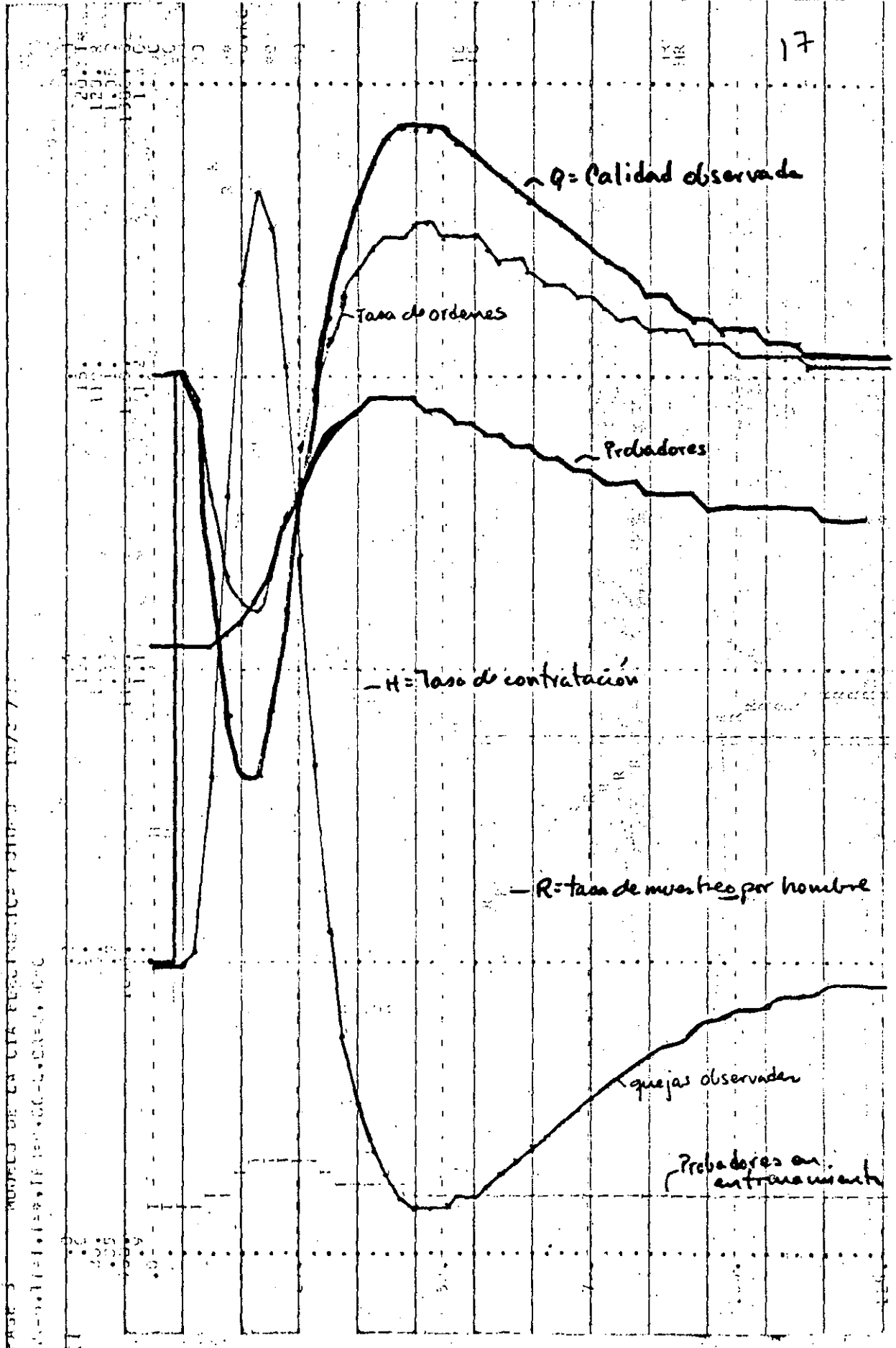
Probadores

Tasa de muestreo

Tasa de contratación

Quejas
Observadas

Probadores en
entrenamiento



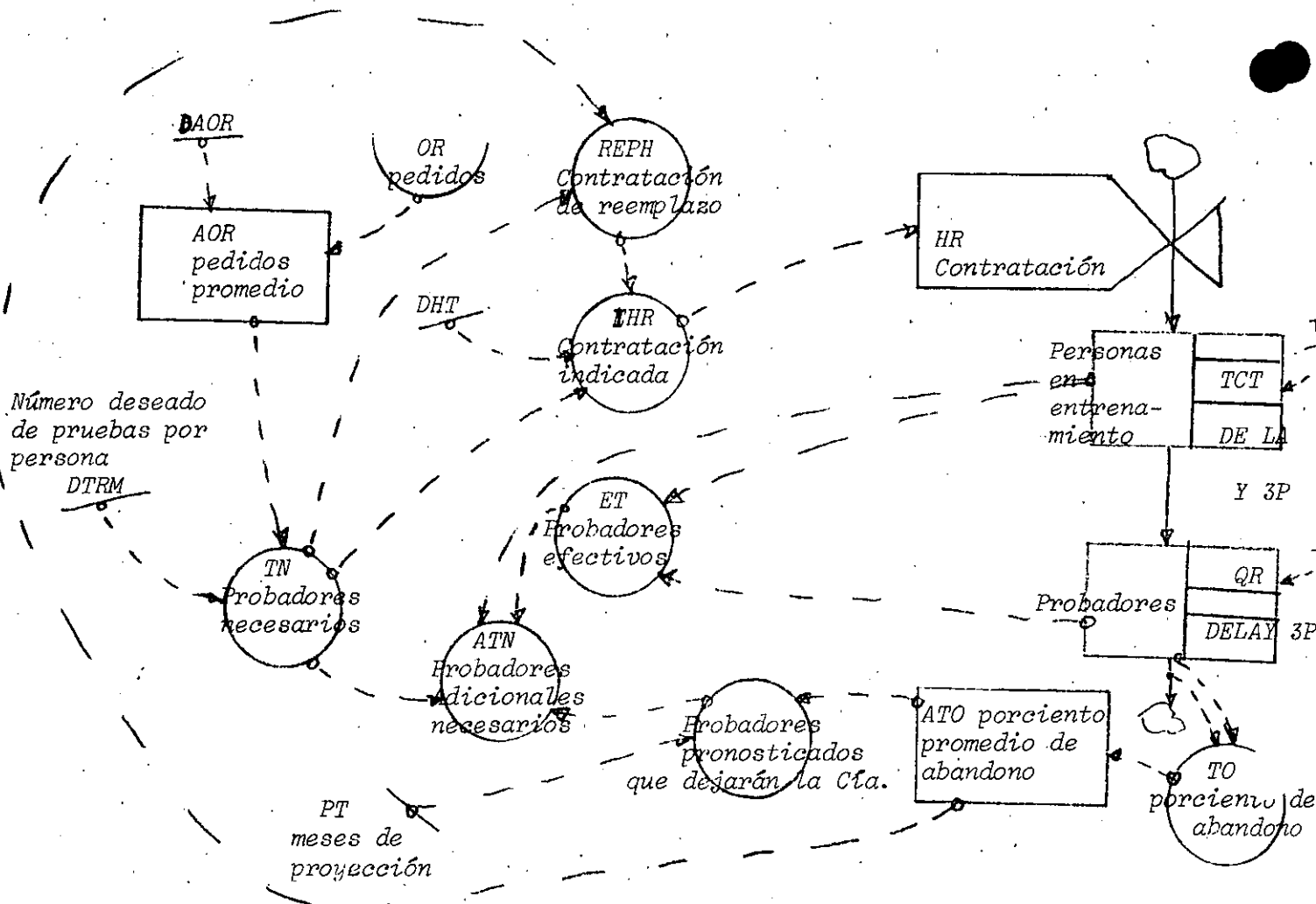
PAGE 3 MODELO DE LA CIA RESISTENCIA 1977

1977-1978-1979-1980-1981-1982-1983-1984-1985-1986-1987-1988-1989-1990-1991-1992-1993-1994-1995-1996-1997-1998-1999-2000-2001-2002-2003-2004-2005-2006-2007-2008-2009-2010-2011-2012-2013-2014-2015-2016-2017-2018-2019-2020-2021-2022-2023-2024-2025

e).- Experimente con cambios que podrían aliviar el problema.

Respuesta.

Se desean minimizar las fluctuaciones en calidad y mantener los pedidos. Una política más efectiva podría tomar una acción planeada para responder a las condiciones pronosticadas desfavorables. La nueva política propuesta utiliza los pedidos como una indicación del volumen de unidades que necesitarán probarse en el futuro cercano. La información sobre el número actual de probadores, probadores en entrenamiento y número esperado de personas que dejarán la empresa provee un medio de estimar el número de personas para probar las unidades que vendrán. Después se programa la contratación para reducir las discrepancias entre probadores necesarios y disponibles. El siguiente diagrama de flujo y ecuaciones dinamo resumen los cambios que reflejan la nueva política.



4.- REFERENCIAS

- 1.- Zárate Ramirez Víctor. "Método de los Sistemas", Apuntes de Clase. División de Estudios de Posgrado, Fac. de Ing. U.N.A.M. 1982.
- 2.- Goodman Michael R. "Study Notes in System Dynamics". -- The M.I.T. Press, 1974.



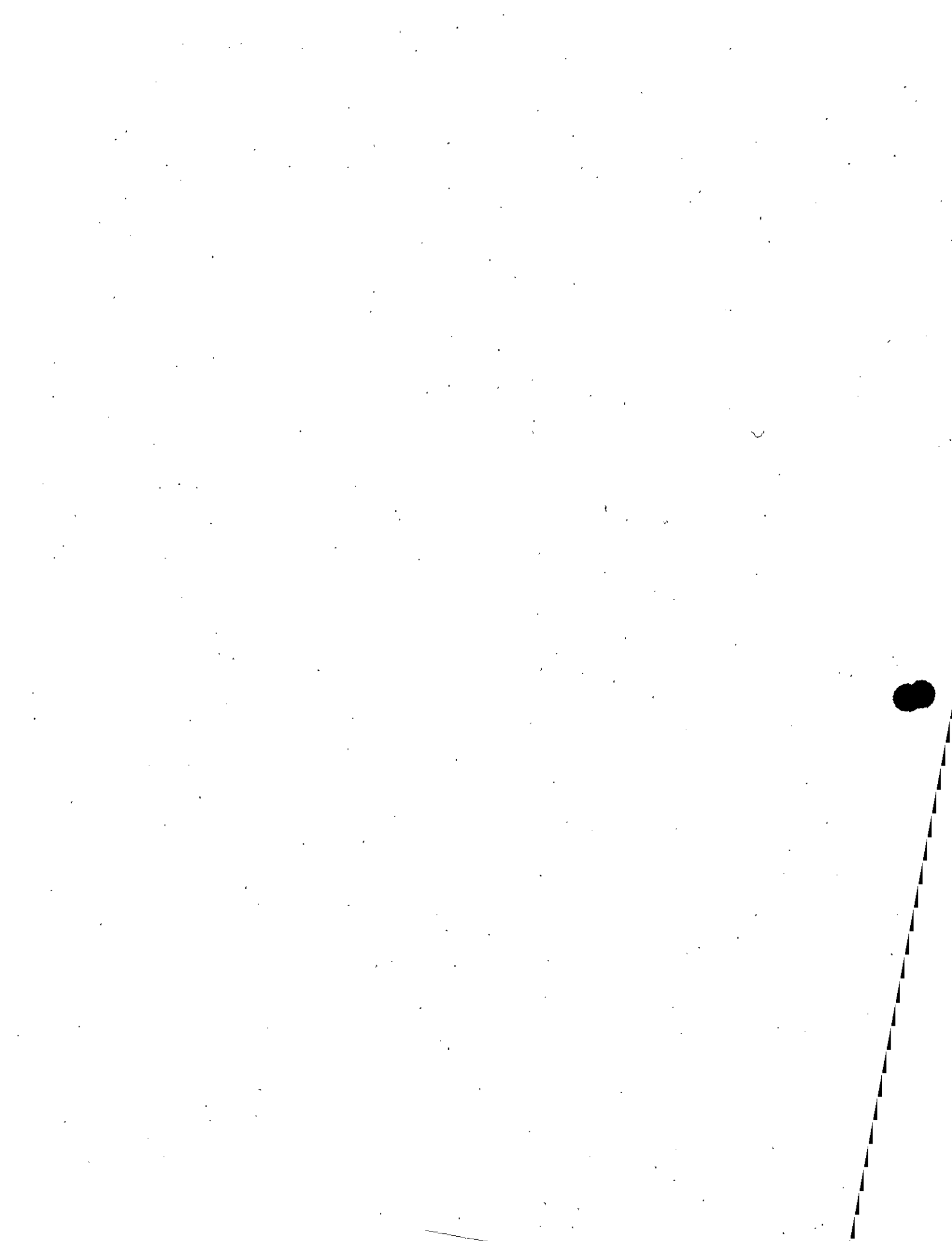
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

TEORIA DE DECISIONES

M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON

NOVIEMBRE, 1984



1. PRESENTACION

En estas notas se presenta un panorama del análisis de problemas de decisión, problemas que se presentan por igual tanto en el sector público como privado.

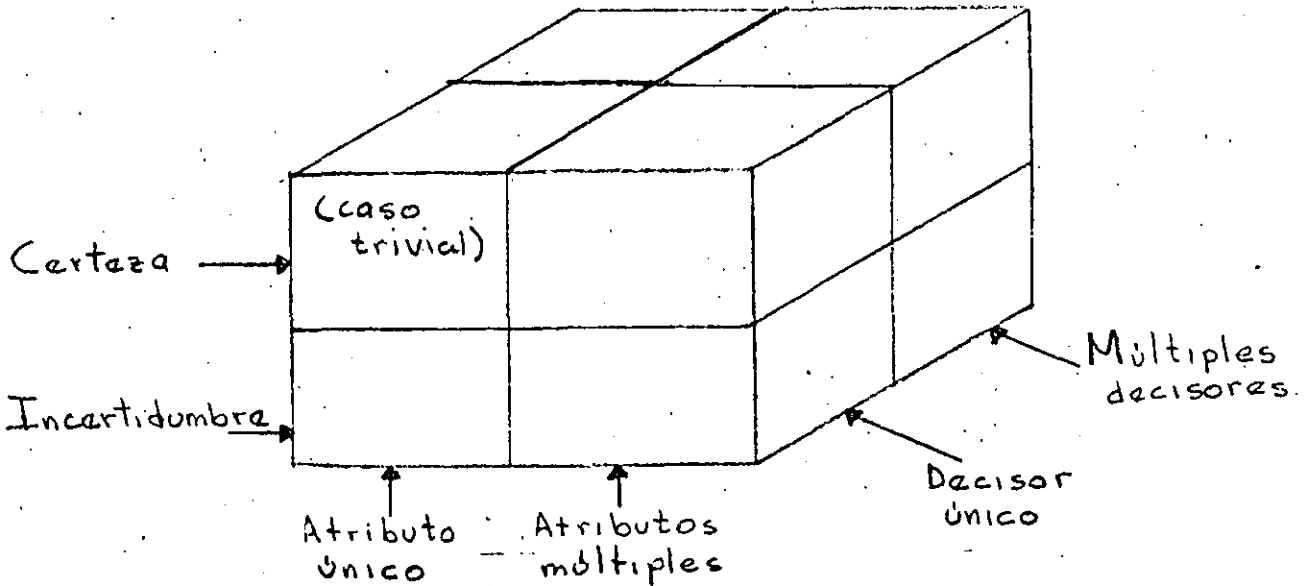
El espíritu de la teoría de decisiones está en dividir para conquistar, es decir descomponer un problema complejo en subproblemas, los que serán más simples.

En un problema de decisión se presenta la siguiente triple dicotomía:

Certeza o incertidumbre

Atributo único o múltiples atributos

Decisor único o múltiples decisores



De esta manera tenemos $2^3=8$ tipos de problemas de decisión.

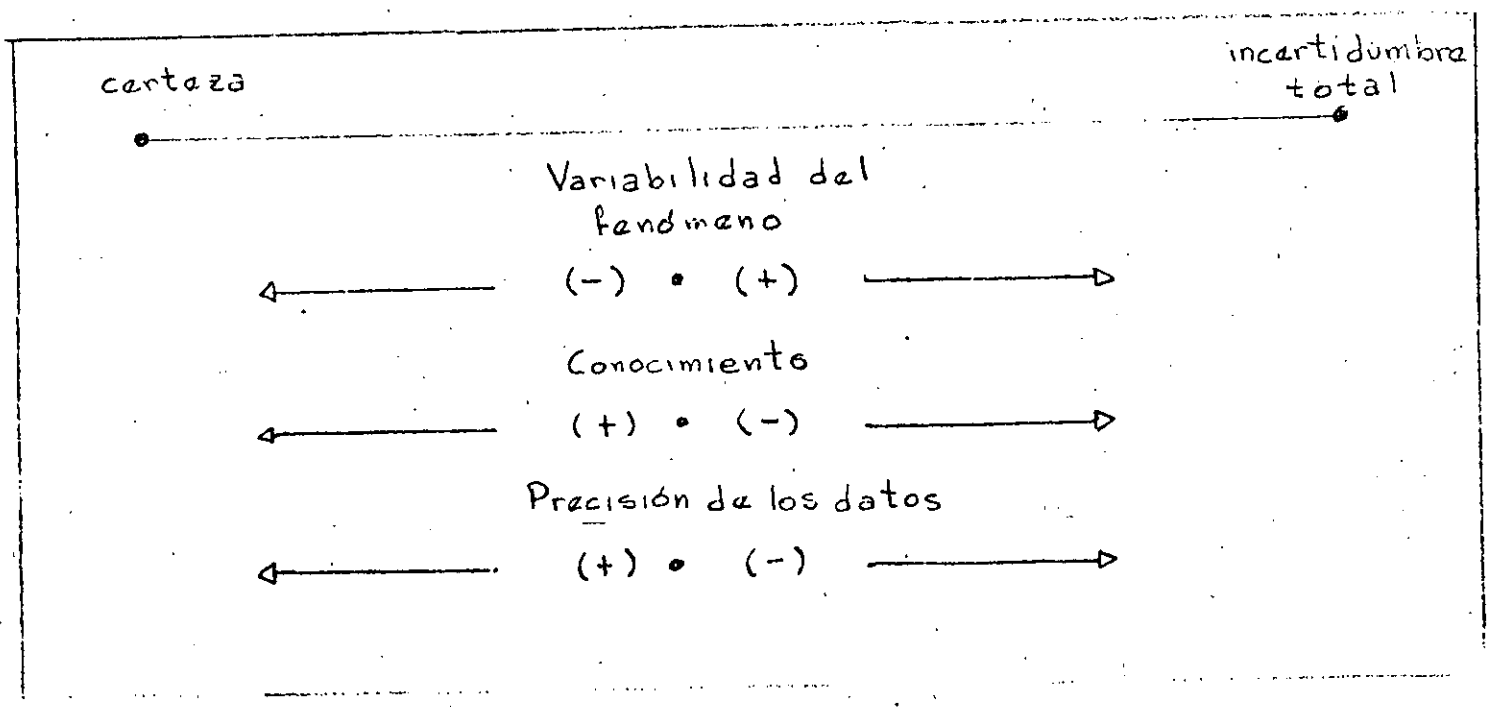
Comentaremos a continuación las tres dicotomías que se indican.

CERTEZA E INCERTIDUMBRE.

La certeza implica el conocimiento perfecto de las consecuencias de una decisión; en el caso con incertidumbre no se conocen con precisión cuales son las consecuencias.

A la incertidumbre contribuye no sólo la variabilidad natural del fenómeno estudiado, también interviene la falta de conocimiento y la falta de precisión de los datos que se posean.

Ahora bien, existen diversos grados de incertidumbre que van desde la certeza (cero incertidumbre) hasta la incertidumbre total: (caso muy raro).

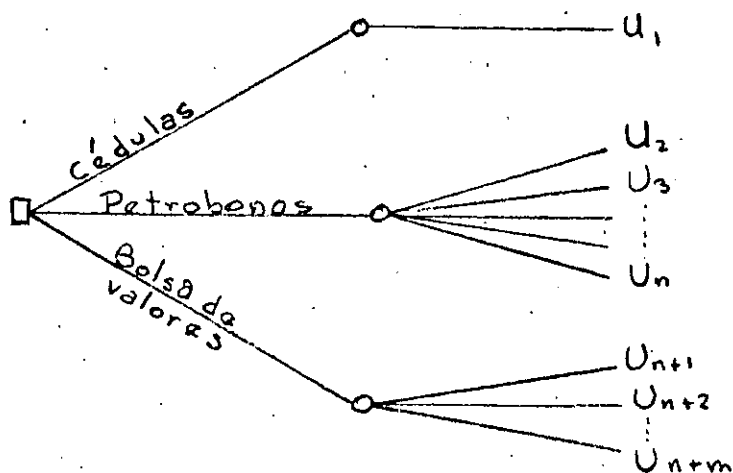


ATRIBUTO UNICO O ATRIBUTOS MULTIPLES.

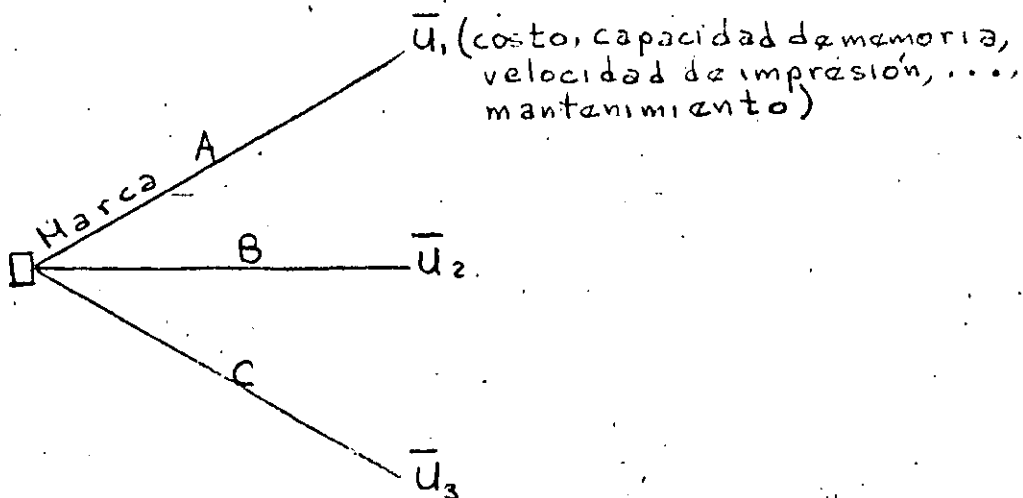
Se refiere a si es posible describir completamente las consecuencias en términos de un solo atributo (por ejemplo: utilidad o número de visitas) o por el contrario las consecuencias se establecen en términos de atributos múltiples.

Ejemplo 1.

Un problema de inversión donde el atributo será la utilidad.



Ejemplo 2. Adquirir una minicomputadora.



4

DECISOR UNICO O MULTIPLES DECISORES.

Una gran parte de los problemas involucran a un sólo decisor, sin embargo también una buena parte involucra a dos o más decisores.

El problema de varios decisores tiene diversas variantes respecto a la forma en que participan los decisores, que van desde las votaciones hasta la búsqueda de un acuerdo común.

A continuación haremos algunos comentarios respecto a algunas formas de operación, de lo que denominaremos como grupos de decisión.

Votación. Se suelen tomar decisiones que como grupo son ineficientes. Considerese por ejemplo que existen dos alternativas A y B.

La alternativa A es muy buena para el 60 por ciento de los votantes y muy mala para el 40 por ciento restante; mientras que la alternativa B es muy buena para el 55 por ciento y buena para el otro 45.

Como grupo la mejor alternativa es la B, sin embargo, en una votación es posible que resulte electa la alternativa A; por esto, es que se dice que este método de decisión conduce frecuentemente a tomar decisiones ineficientes. A lo anterior deben aunarse todos los defectos que en este tipo de grupos se presentan, como es la manipulación (existe un sinnúmero de artículos publicados en revistas serias donde se trata este problema, incluso uno de ellos se titula "Cómo convertirse en un dictador en una asamblea").

Decisor como sintetizador. Consiste en una persona que considerando las preferencias de las personas involucradas en el problema, busca la alternativa que es más eficiente para el grupo. A este tipo de decisor se le conoce en la literatura como un 'dictador benevolente' y es un caso común en la realidad.

Grupos participativos de decisión. Son aquellos donde se busca un común acuerdo, habiéndose desarrollado en la actualidad diversas técnicas para hacer más eficiente su operación. Una de ellas es la técnica Delphos.

En el presente escrito sólo se tratarán los problemas de un sólo decisor.

2. FORMULACION DEL PROBLEMA DE DECISION

Inicialmente se hace una descripción por escrito del problema, la que se presentará al decisor para ver si efectivamente se trata de su problema.

Esta descripción incluye necesariamente lo siguiente:

- Fecha de evaluación. Más allá de la cual no vale la pena tomar en consideración ningún acto o evento.
- Objetivo u objetivos
- Medidas de actuación. Es un indicador que permite medir el logro de un objetivo.
- Un diagrama de decisión

El diagrama de decisión deberá mostrar todos los actos y eventos.

El arbol de decisión se construye considerando lo siguiente:

Una rama en el diagrama puede representar un acto o un evento incierto.

Un cuadrado del que salen ramas que representan actos es un punto de decisión.

Un círculo del que salen ramas que representan eventos es un punto de incertidumbre.

Los eventos en un punto de incertidumbre deben ser mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos. Mutuamente exclusivos indica que sólo uno de ellos puede ocurrir y colectivamente exhaustivos que se han considerado todos los eventos que pueden ocurrir. Lo anterior debe cumplirse también para los actos en los puntos de decisión.

En cualquier punto de decisión los eventos y los actos cuya ocurrencia está perfectamente determinada para el decisor deben en el diagrama estar situados a su izquierda y todos aquellos que aún son una incógnita deben estar a su derecha.

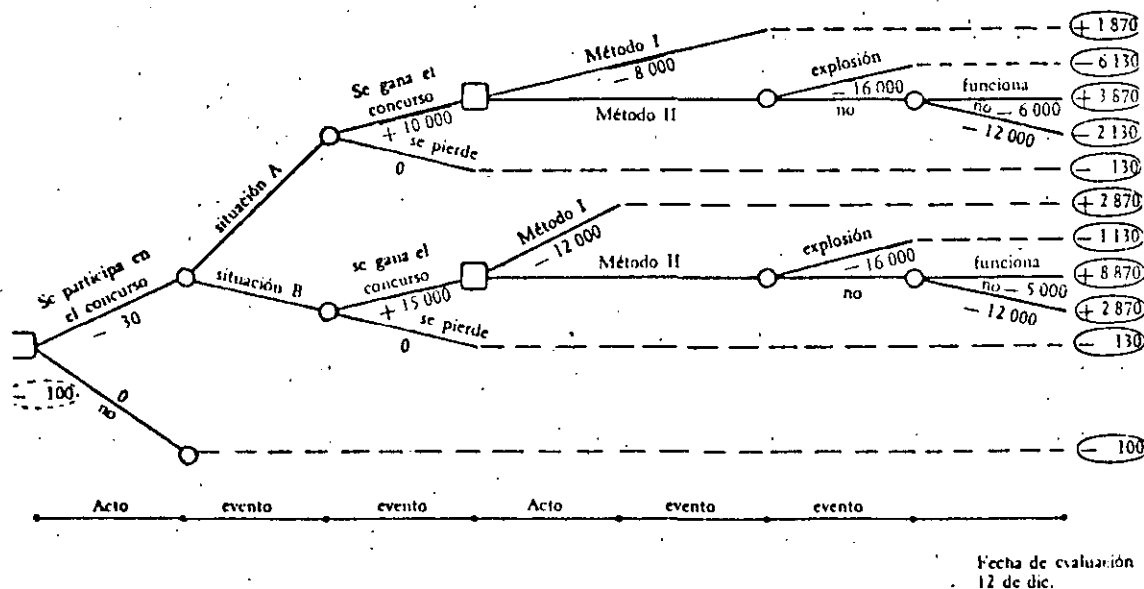
EJEMPLOS:

Problema de participación en un concurso

La Cía. Lette debe decidir si entra o no a un concurso para la obtención de un pedido importante. El costo para la elaboración del presupuesto es de \$30 000, cantidad que no será reembolsada si se pierde el concurso. Se piensa que como resultado del estudio se conocerá si se está en la situación A o en la B. Si es la A, el presupuesto que se presentará será de 10 millones de pesos, si no, el presupuesto será de 15. Si se gana el concurso habrá que

seleccionar el método de manufactura que puede ser el I o el II. El método I tiene la seguridad que funciona y su costo es de 8 millones si se tiene la situación A y de 12 si es la B. El método II no depende de cuál sea la situación que se tenga, y si funciona bien costará 6 millones. El problema es que puede ocurrir una explosión, en cuyo caso el costo se elevará a 16 millones, aun cuando no haya explosión puede ser que no funcione, debiéndose subcontratar con un costo total de 12 millones.

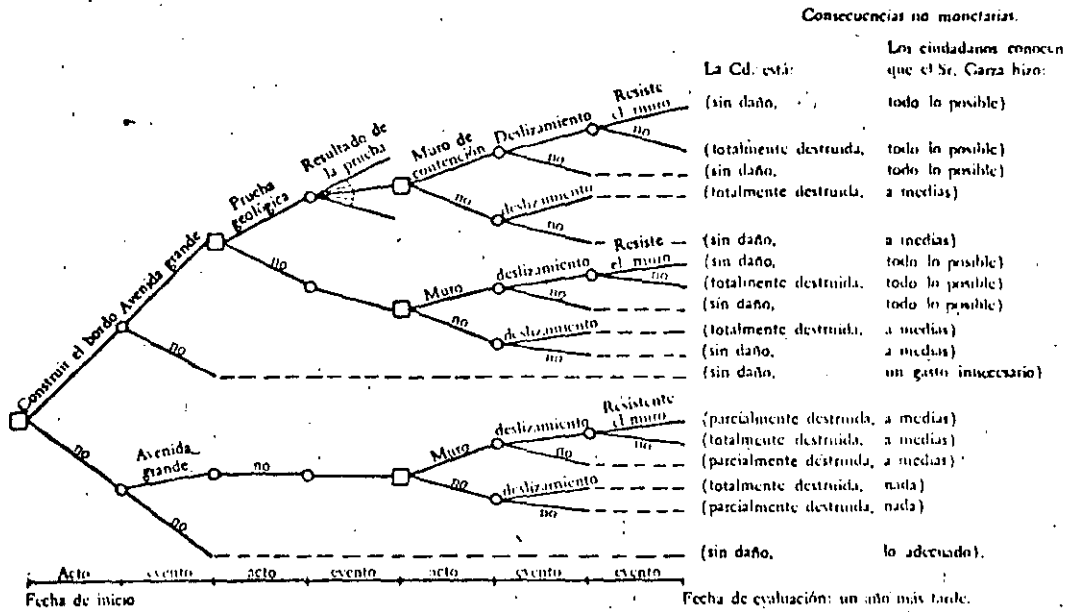
a) Considerando el 12 de diciembre del año en curso como la fecha de evaluación, el capital líquido neto como el criterio de evaluación y el capital inicial inicial igual a - \$100 000 dibuje el diagrama de decisión y evalúe monetariamente los puntos terminales.



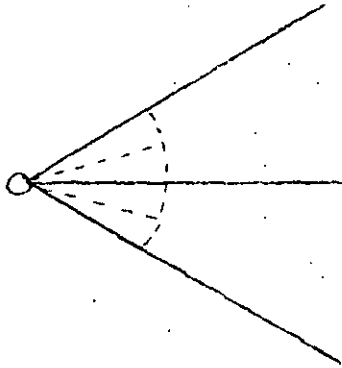
En el municipio de Villa H. se están realizando obras para evitar que una avenida muy grande del río Los Metates inunde la población, las cuales estarán concluidas dentro de un año. Si se tiene una inundación la ciudad quedará parcialmente destruida, pero existirá además el peligro de un deslizamiento de tierra que la destruirá totalmente. (Actualmente se está reforestando, pero el avance necesario para evitar el deslizamiento no se tendrá sino hasta dentro de un año.) Con inundación o deslizamiento se tendrá tiempo suficiente para evacuar la población, por lo tanto no habrá pérdida de vidas. Si no hay inundación no habrá ningún deslizamiento.

El Sr. Garza, presidente municipal de Villa H., puede mandar construir un bordo que protegerá la Cd. pero que aumentará la posibilidad de un deslizamiento al desviar el agua. Si hay inundación, él ha decidido llamar expertos para conocer su opinión. Esta opinión puede ser más acertada si se efectúa una prueba geológica, la cual puede ser costosa. Una defensa posible es construir un muro de contención, aunque no es una barrera segura, ya que en el pasado se han tenido deslizamientos que han roto los muros. Si no se construye el bordo no hay necesidad de la prueba geológica.

Dibuje el diagrama de decisión del Sr. Garza y describa las consecuencias monetarias en cada punto terminal.



En el diagrama anterior la figura

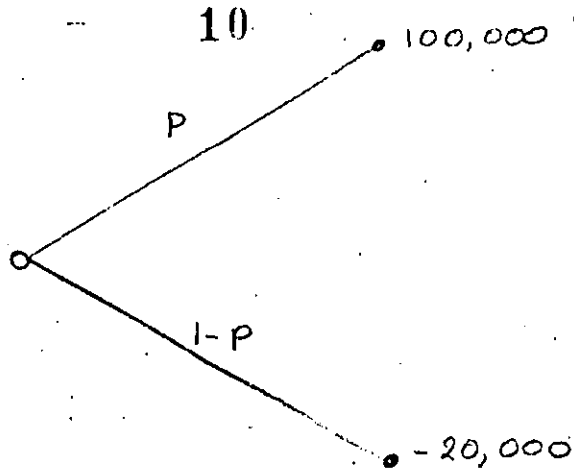


representa que son muchos los posibles resultados de la prueba geológica.

3. EQUIVALENTE BAJO CERTEZA. CURVA DE PREFERENCIAS

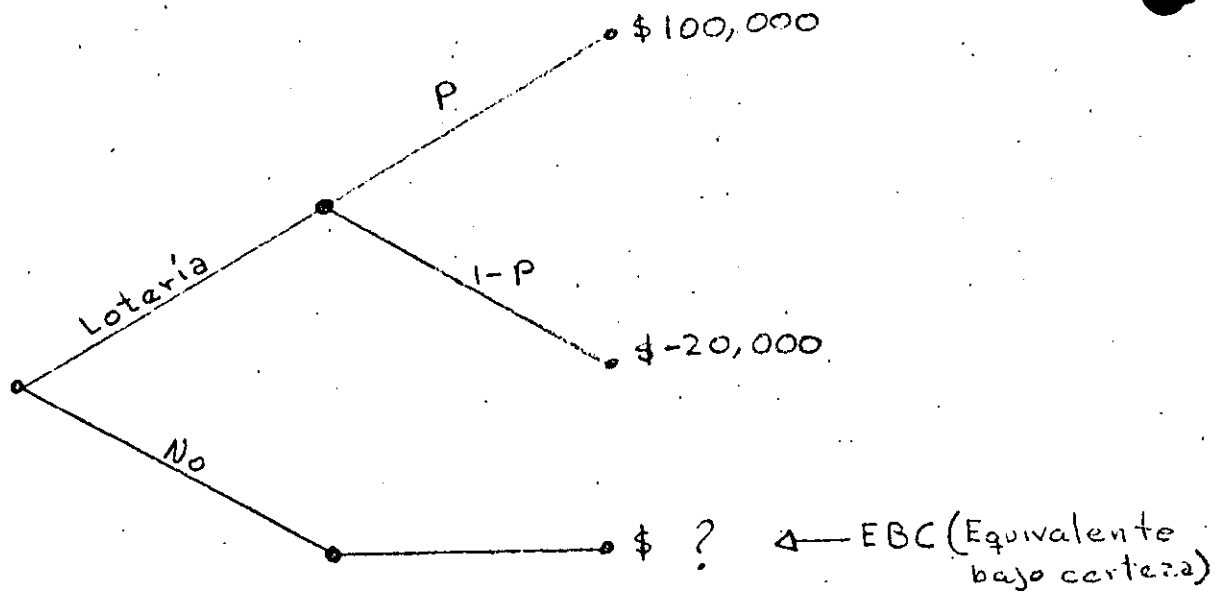
3.1 Obtención del equivalente bajo certeza (EBC).

Considere que tiene el siguiente problema.



Con probabilidad p puede ocurrir que se ganen \$100 000 y con $1 - p$ \$-20 000.00.

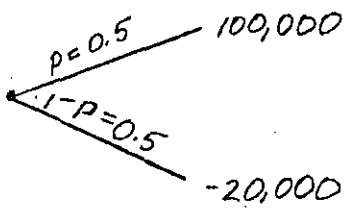
¿Cuál es la cantidad de dinero para la que a usted le es indiferente participar en la lotería o recibir con certeza esa cantidad de dinero?



- Si $p = 1$ EBC = 100 000
- Si $p = 0$ EBC = - 20 000

Para los valores anteriores de p no hay ningún problema, ¿pero si $p = 0.5$? no es tan inmediata la respuesta.

Auxiliemos al decisor mediante el siguiente procedimiento.

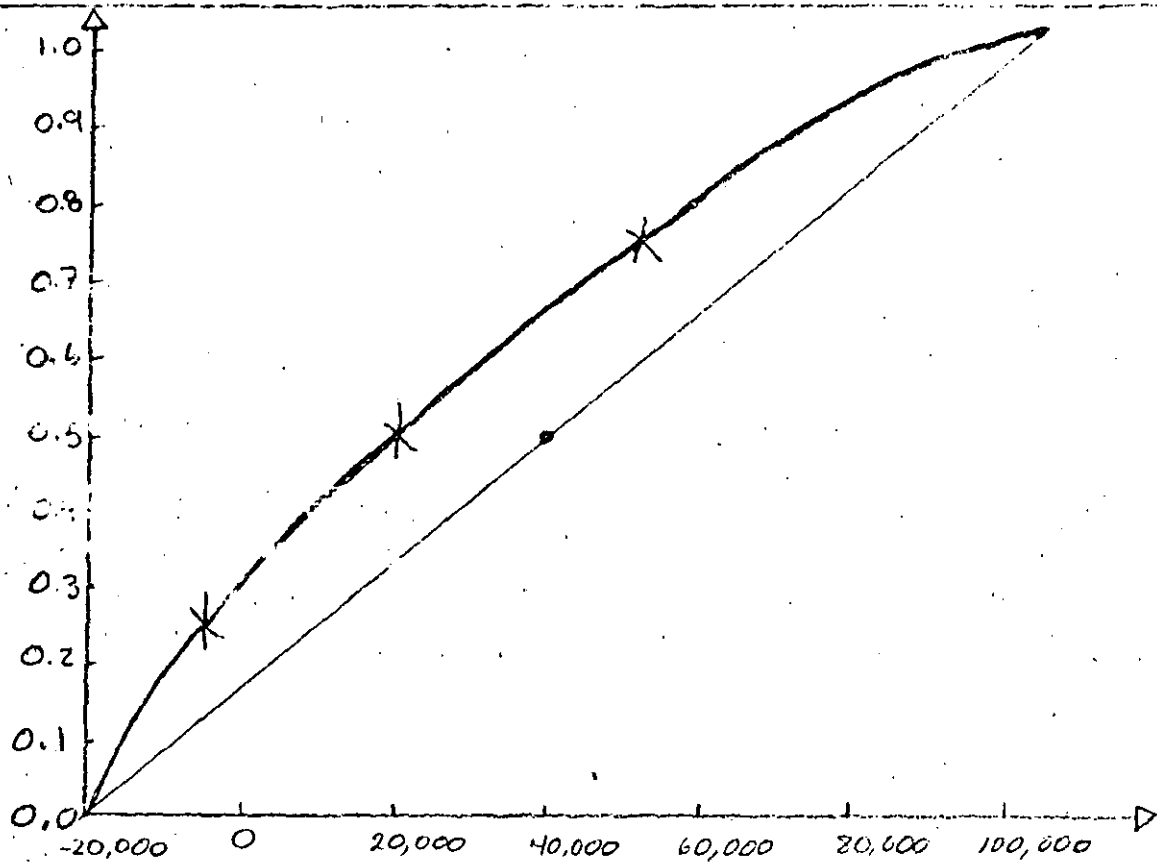
L O T E R I A	Le ofrecen bajo certeza	El decisor prefiere
	100,000	La cantidad
	80,000	La cantidad
	20,000	Le da lo mismo
	-----	La lotería
	- 15,000	La lotería
	- 20,000	La lotería

Planteemos ahora el caso $p = 0.25$ y consideramos que se obtiene $EBC = -2,500$.

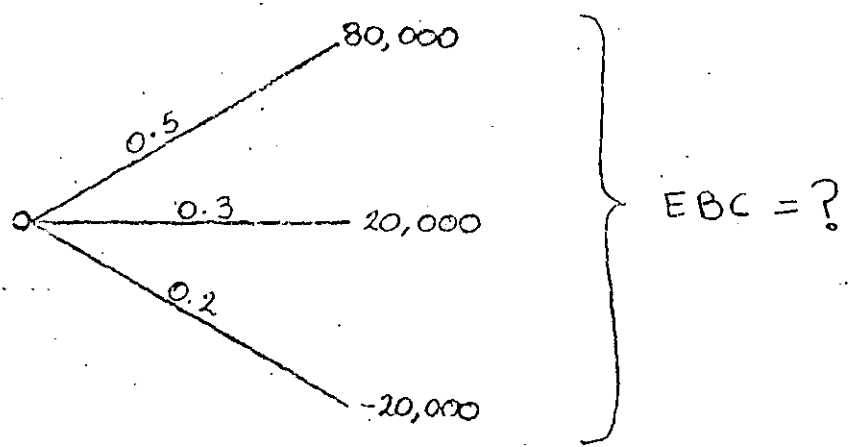
De igual manera para $p=0.75$, $EBC = 50,000$.

3.2 Curva de preferencias.

Con los datos anteriores (o con un mayor número si se quiere más precisión) construyamos la curva de preferencias.

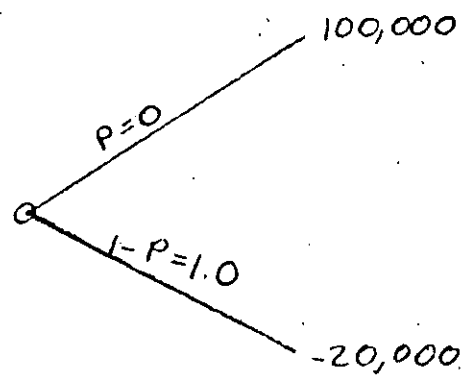


Con esta curva podemos determinar el EBC de la siguiente lotería:

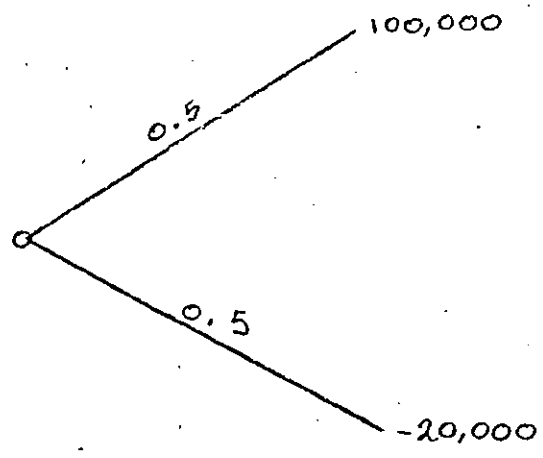


Hagamoslo de la siguiente manera:

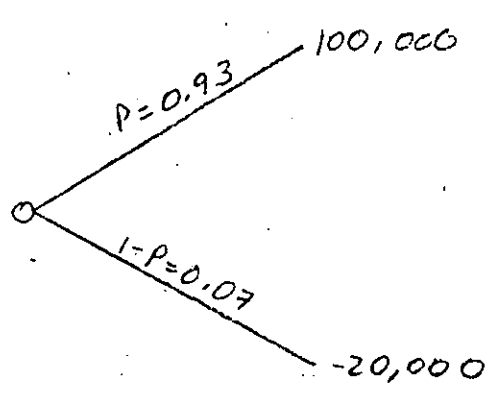
De acuerdo con nuestros datos -20,000 es el EBC de la lotería



y 20,000 es el EBC cuando $p=0.5$

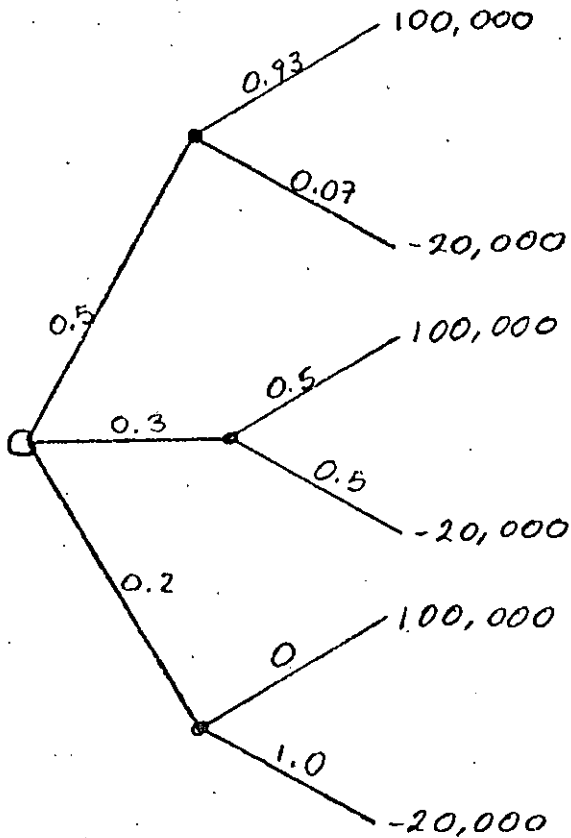


Por otra parte 80,000 es el EBC de la lotería.



Con estos datos construyamos el árbol.

14



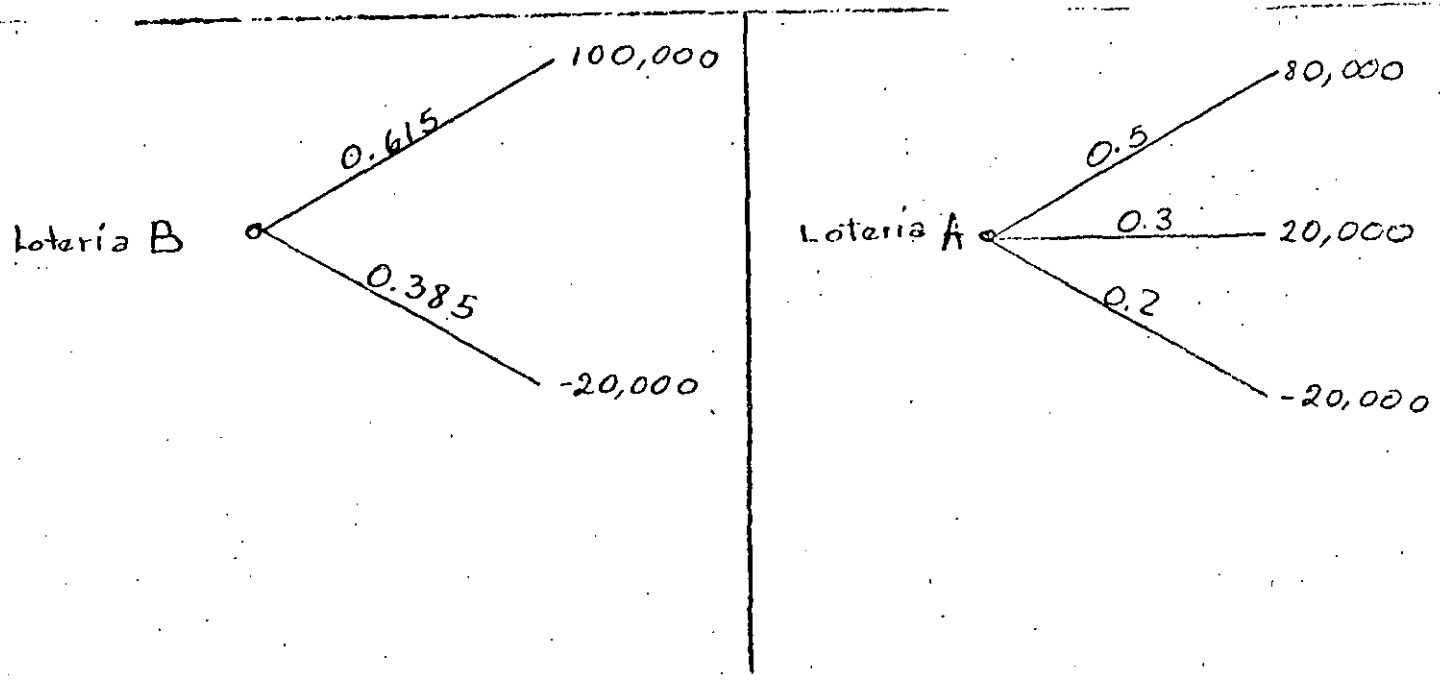
La probabilidad de que el valor terminal sea de 100,000 es

$$\begin{aligned} & 0.50 \times 0.93 = 0.465 \\ & + 0.30 \times 0.50 = 0.150 \\ & + 0.20 \times 0.00 = \underline{0.000} \\ & \qquad \qquad \qquad 0.615 \end{aligned}$$

y la de obtener -20,000 es

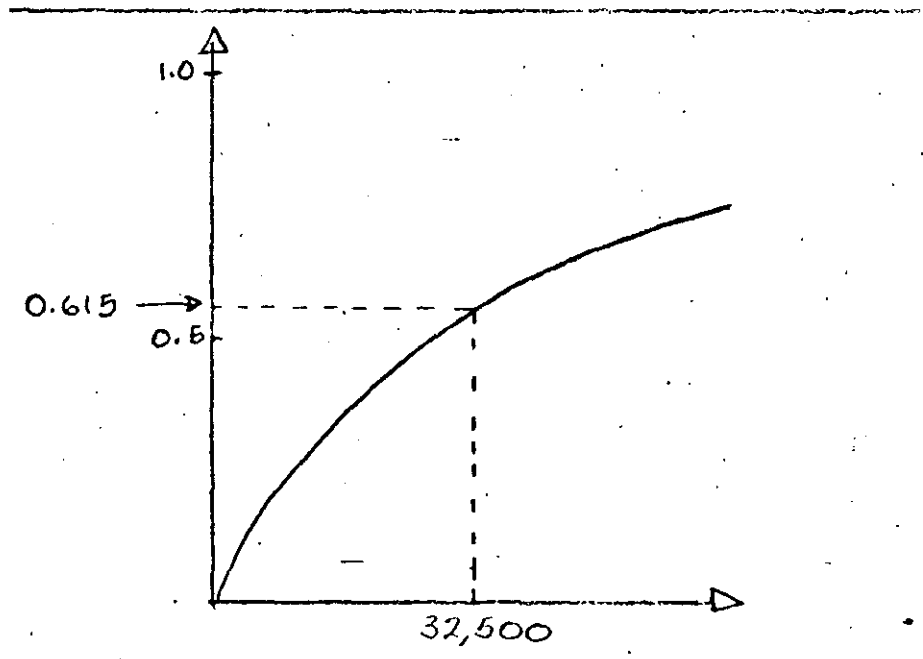
$$\begin{aligned} & 0.50 \times 0.07 = 0.035 \\ & + 0.30 \times 0.50 = 0.150 \\ & + 0.20 \times 1.00 = \underline{0.200} \\ & \qquad \qquad \qquad 0.385 \end{aligned}$$

de acuerdo con lo anterior



las loterías A y B son equivalentes.

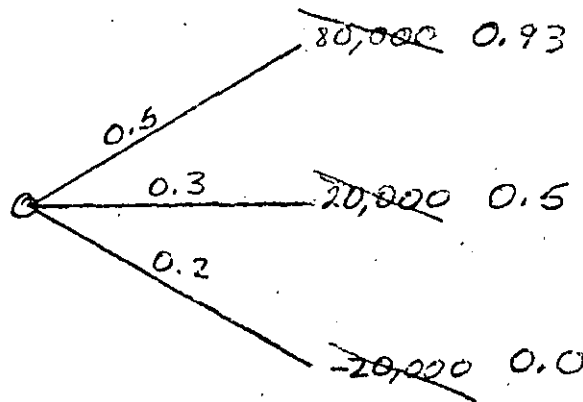
El EBC de la lotería B se obtiene de la siguiente forma:



$EBC = 32,500.$

Una forma más rápida es la siguiente:

Se sustituyen los valores terminales de árbol por los valores de p que les corresponden según la gráfica de la curva de preferencias



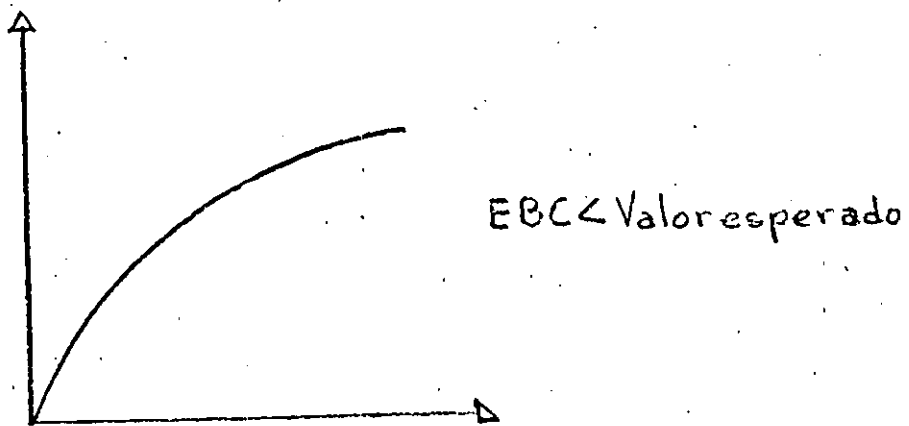
y se calcula el valor esperado correspondiente:

$$(0.5 \times 0.93) + (0.3 \times 0.50) + (0.2 \times 0.0) = 0.615$$

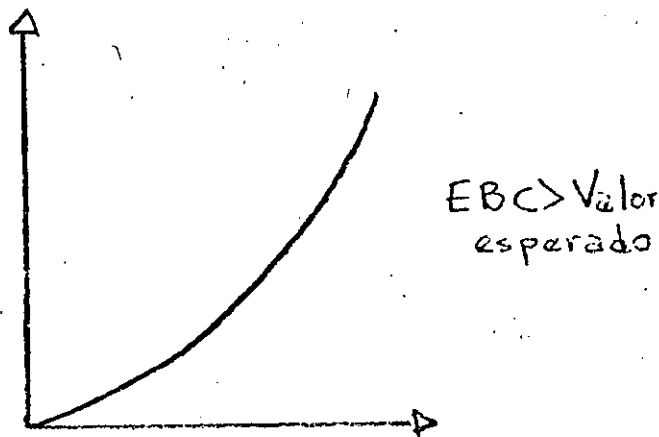
con lo cual se entra a la curva y se obtiene que EBC = 32,500

3.3 Aversión, propensión e indiferencia al riesgo

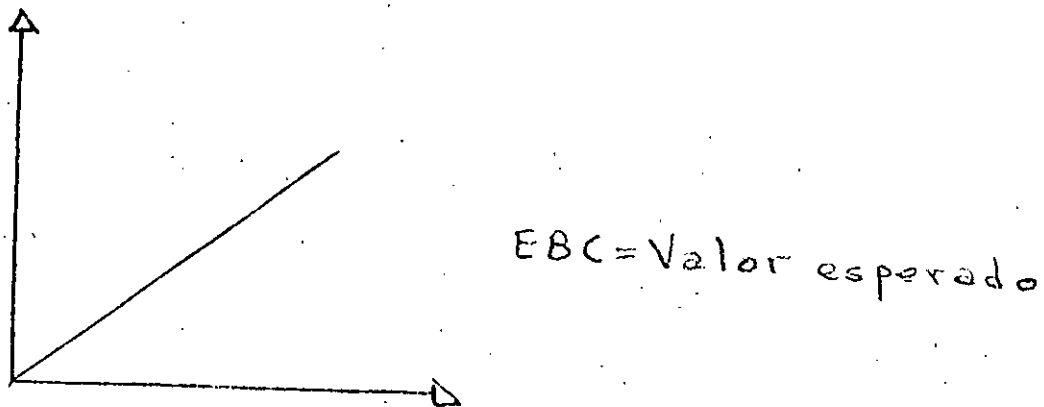
La curva del problema anterior representa a una persona que es adversa al riesgo



La forma de la curva en el caso de una persona que es propensa al riesgo es



Para una persona que es indiferente al riesgo resulta



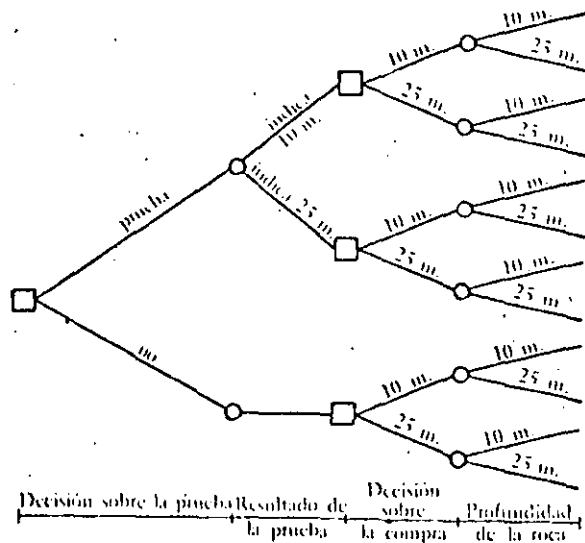
4.1 Problema con un atributo

Ilustraremos la aplicación de la teoría de decisiones resolviendo el siguiente problema.

El gerente de la Cía. ICASA debe decidir la longitud de los pilotes que va a comprar para la cimentación de una obra que tiene contratada. Esta decisión dependerá de la profundidad a la que se encuentre la roca, la cual puede ser de 10 metros o de 25.

En vez de decidir inmediatamente él puede sujetar el terreno a una prueba que le dará una indicación de la profundidad, aunque esta indicación no puede aceptarse con seguridad absoluta.

Para ayudarlo a decidir el gerente llama a un miembro joven del grupo de análisis de operaciones de ICASA y le explica el problema. Después de varias horas el analista regresa con el diagrama siguiente:



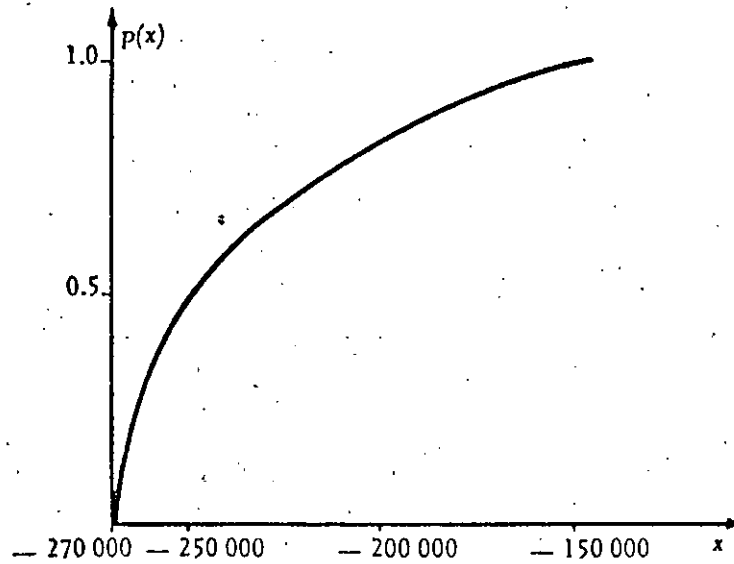
Se ha recopilado la información siguiente:

Evento	Probabilidad incondicional	Probabilidad condicional dado que la profundidad es de 10 metros	Probabilidad condicional dado que la profundidad es de 25 metros
Profundidad 10 m.	0.6		
Profundidad 25 m.	0.4		
Resultado de la prueba: 10 m.		0.9	0.2
Resultado de la prueba: 25 m.		0.1	0.8

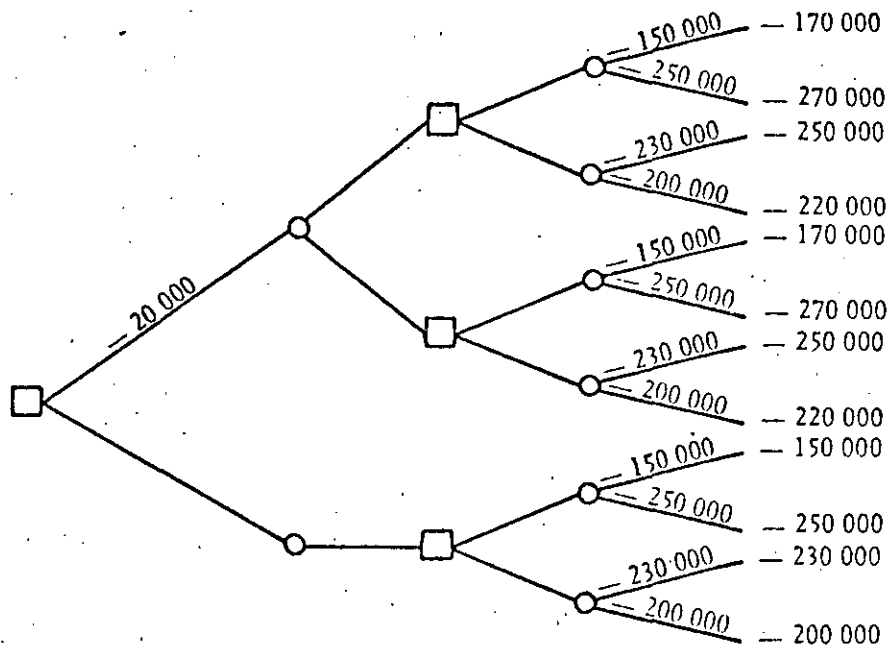
El costo de la prueba es de \$ 20,000.00 y los demás se muestran en la tabla:

	Profundidad de la roca es 25	Profundidad de la roca es 10
Se compran pilotes de 25	\$ 200 000	\$ 230 000
Se compran pilotes de 10	\$ 250 000	\$ 150 000

La función utilidad es:

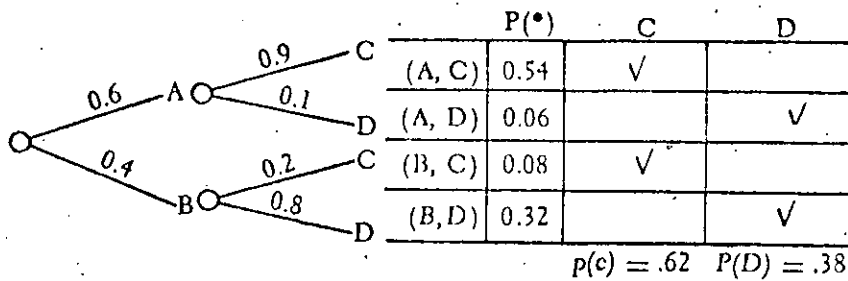


1o. En el diagrama indicar los flujos parciales de dinero y evaluar los terminales.



2o. Cálculo de las probabilidades para el diagrama.

Se tiene



donde

Evento A: la profundidad de la roca es de 10 m.

Evento B: la profundidad de la roca es de 25 m.

Evento C: la prueba indica que la profundidad es de 10 m.

Evento D: la prueba indica que la profundidad es de 25 m.

Se necesita calcular.

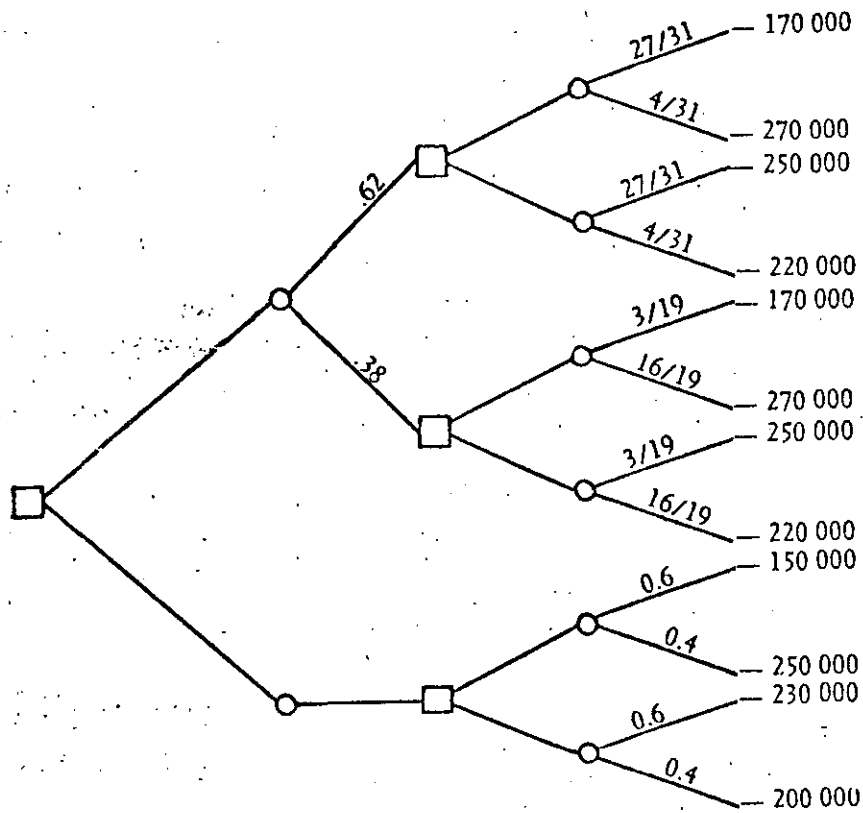
$$p(A/C) = p(A,C)/p(C) = .54/.62 = 27/31$$

$$p(B/C) = 1 - 27/31 = 4/31$$

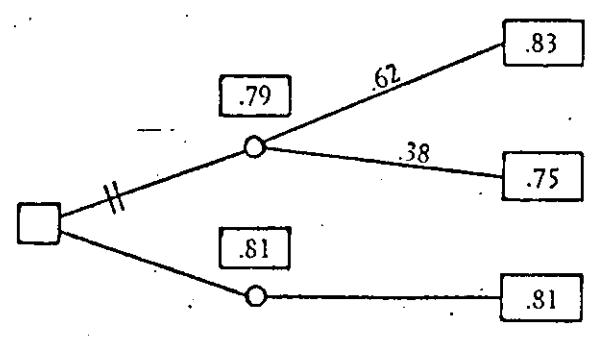
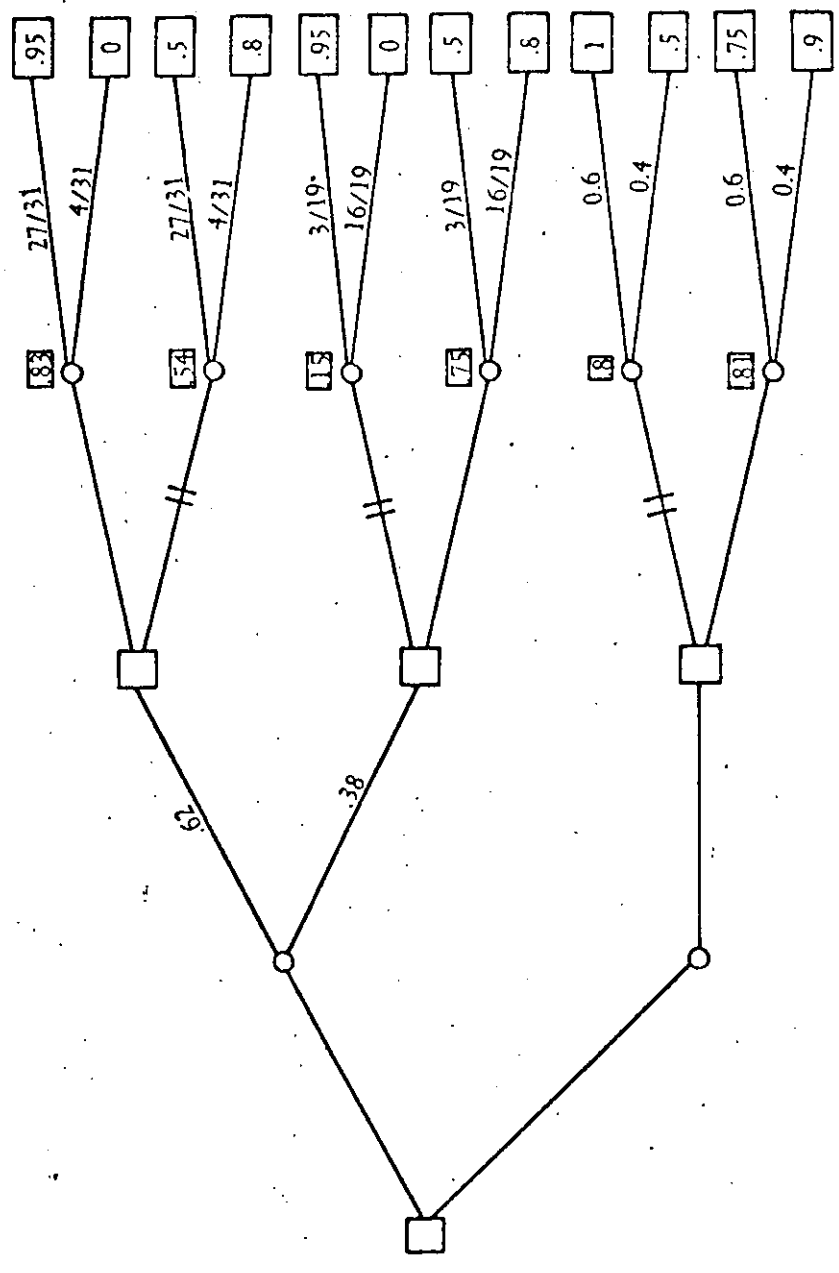
$$p(A/D) = p(A,D)/p(D) = .06/.38 = 3/19$$

$$p(B/D) = 1 - 3/19 = 16/19$$

Así el diagrama queda:



30. Se sustituyen los valores por sus preferencias y se calcula en cada punto de incertidumbre su preferencia esperada, sustituyéndola por el punto. Cuando un punto de decisión es terminal se selecciona el acto que maximiza la preferencia.



Luego la estrategia óptima es no hacer prueba y comprar pilotos de 25 metros.

4.2 PROBLEMAS CON ATRIBUTOS MÚLTIPLES

El tiempo de que se dispone en este curso no permite el tratamiento de problemas con atributos múltiples.

Considero que es en este tipo de problemas donde la teoría de decisiones tiene un mayor campo de aplicación.

Ante lo anterior se recomienda a continuación una serie de libros donde se puede profundizar en el conocimiento de problemas con un atributo y aprender lo relativo a problemas con objetivos múltiples.

BIBLIOGRAFIA

Acosta Flores Jesús. Teoría de Decisiones en el Sector Público y en la Empresa Privada, Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1977. Es un excelente libro en donde se presentan de manera muy sencilla tanto los problemas con un atributo, como los de atributos múltiples; se recomienda su lectura previa a la de otros libros ya que facilitará su comprensión, no queriendo decir con esto que el libro no sea suficiente para aprender como resolver una buena parte de los problemas de decisión.

Fellner William, Probability and Profit Irwn, Inc, 1965. Una introducción general al estudio de la teoría de probabilidad subjetiva, utilidad y beneficio. En el último capítulo presenta comentarios bibliográficos sobre 52 autores.

Edwards, Ward. The Theory of Decision Making, Psychological Bulletin, July, 1954. Considera cinco áreas: la teoría de selección sin riesgo, aplicaciones a economía del bienestar, selección con riesgo, transitividad de las selecciones y la teoría de juegos y toma de decisiones. En cada área se da una descripción de los trabajos pioneros, las críticas importantes y las clases de experimentos para probar estas teorías por matemáticos, economistas y psicólogos

en los 30 años anteriores. Presenta una bibliografía de más de 200 artículos.

Drake Alvin W. Fundamentals of Applied Probability Theory.

Mc Graw Hill, 1967. Un libro muy didáctico que se recomienda para el estudio de la probabilidad.

Mood and Graybill. Introduction to the Theory of Statistics.

Mc Graw Hill, 1963. Uno de los libros más populares sobre métodos y conceptos de estadística clásica.

Kyburgo and Smokler. Studies in Subjective Probability. Wiley and Sons, 1954. Ensayos por Borel, de Finetti, Koopman, Ramsey, Savage y Venn sobre probabilidad subjetiva.

Schlaifer Robert. Analysis of Decisions Under Uncertainty. Mc Graw Hill, 1967. Un libro que se ha utilizado como libro de texto en el programa de maestría en Administración de Empresas en Harvard. Se ha utilizado también como texto en la U.N.A.M. y en la U.A.E.M. Se recomienda ampliamente, especialmente para aquellas personas en el sector privado.

Raiffa Howard. Decision Analysis. Addison Wesley, 1968. Este libro analiza los aspectos de controversia que existen en la toma de decisiones. Tiene capítulos sobre implantación, decisiones de grupo y compartir el riesgo. También presenta una introducción a objetivos múltiples.

Raiffa Howard. Decision Analysis: a Self Instructional Course.

Enciclopedia Británica. 1971. 10 módulos acompañados por los cassettes correspondientes. Se trata de un curso audiovisual, donde en los módulos aparece lo que se veía en el pizarrón y en los cassettes se escucha la voz de Raiffa como expositor. Es como si uno estuviera asistiendo al curso de teoría de decisiones en Harvard. Se presenta una serie de casos resueltos.

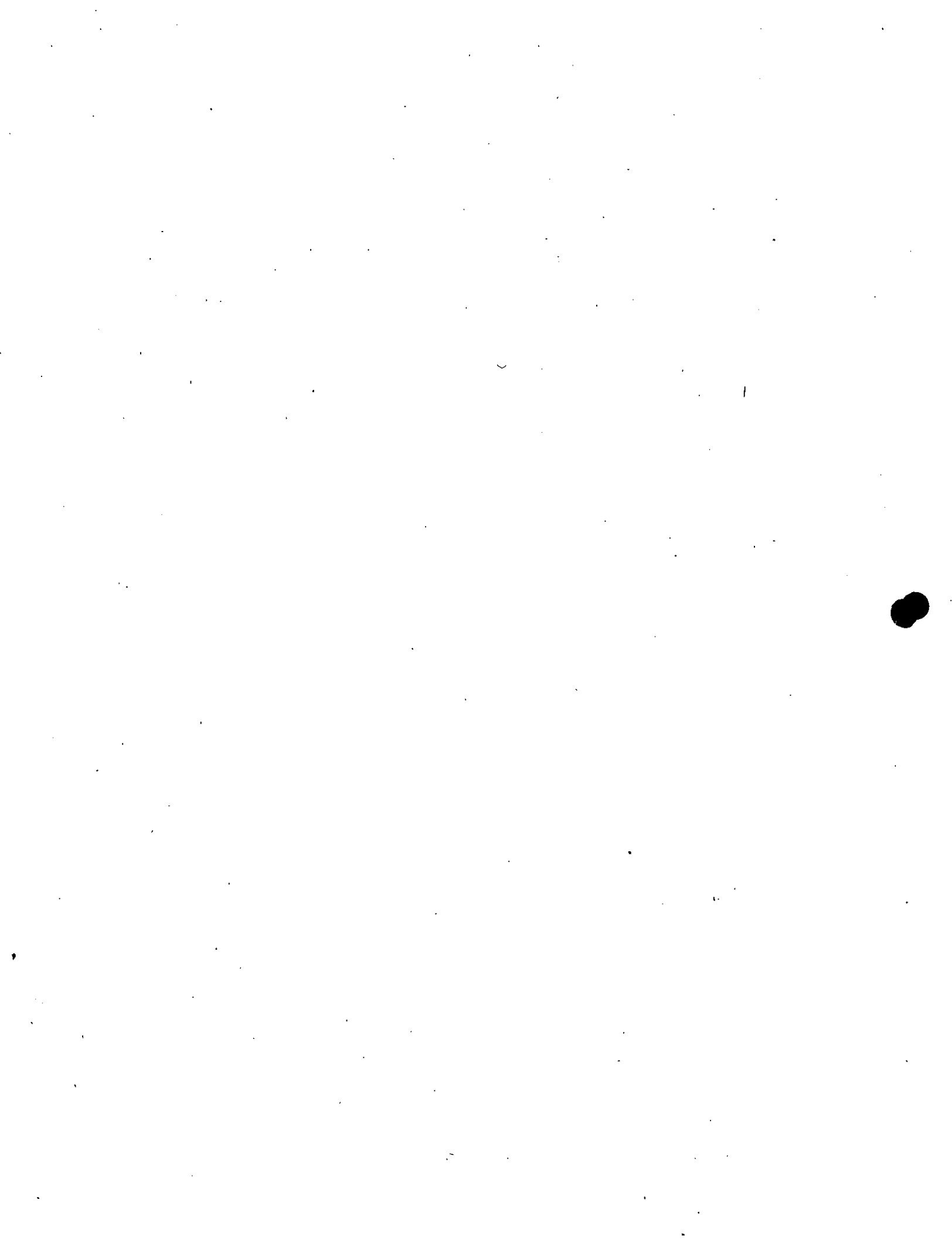
Pratt, Raiffa and Schlaifer. Introduction to Statistical Decision Theory. Mc Graw Hill, 1965. Una introducción bayesiana al análisis de problemas con incertidumbre. El libro discute ampliamente el muestreo normal y binomial, tanto uni como multivariado. Trata distribución normal multivariada, muestreo estratificado, análisis de cartera y teoría de regresión.

Fishburn Peter C. Utility Theory for Decision Making Wiley and Sons., 1970. Este libro se recomienda para una base axiomática de preferencias. Se hace la presentación mediante teoremas y sus demostraciones. En el libro se expone toda la herramienta matemática que utiliza. Texto matemáticamente avanzado.

Keeney Ralph and Raiffa Howard. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. Wiley and Son, 1976. Un libro cuya lectura es necesaria para la toma de decisiones con objetivos múltiples. Presenta funciones de valor para el caso de certeza y de utilidad para incertidumbre. Incluye aplicaciones tanto en el sector público como en el privado; preferencias en el tiempo y de grupos.

Howard Ronald. Dynamic Probabilistic Systems. Wiley and Sons.,

1971. Es un trabajo integrado en dos volúmenes. El primero trata los procesos de Markov y sus variantes; el segundo los de semi-Markov y procesos de decisión. Para resolver los problemas de decisión utiliza programación dinámica.





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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

GRUPOS DE DECISION

M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON

NOVIEMBRE, 1984

GRUPOS DE DECISION

1. Planteamiento del problema.

En las anteriores presentaciones se ha asumido que el decisor es un individuo, sin embargo, acaso no es cierto que en una gran cantidad de problemas de decisión de los sectores públicos y privado se ven envueltos varios individuos incluso poblaciones enteras.

Pongamos varios ejemplos:

Un consejo de administración de una empresa que estudia distintas alternativas de inversión.

Un grupo interdisciplinario que trata de establecer el esquema director del transporte en una ciudad.

Un despacho de consultoría que debe proponer una solución al problema de la contaminación, tomando en cuenta las opiniones de autoridades políticas, asociaciones de industrias, de los ciudadanos, etc.

Una persona que desea invertir en un centro de servicios pero que desea diseñarlo acorde a las preferencias de los que serán los usuarios.

De esta manera podemos pensar que existen dos problemas básicos, los cuales son:

- a) Un grupo de individuos que colectivamente tienen la responsabilidad de hacer una selección entre diversas alternativas.
- b) Una persona (o también un grupo de personas) que es

I tan interesadas en los efectos de sus decisiones sobre un grupo de personas. Esto es, una persona que se preocupa por el bienestar social.

En la solución del primer tipo de problemas es común que se empleen cualquiera de estos métodos: La votación, la búsqueda de un consenso o un proceso mixto.

La votación es un método que frecuentemente conduce a soluciones que desde el punto de vista del grupo, como un todo, son muy ineficientes.

Para ejemplificarlo pensemos en el siguiente caso:

Existen dos alternativas A y B

A es muy buena para el 51% del grupo y mala para el resto.

B es muy buena para el 49% y buena para el 51% restantes.

Si se aplicase la lógica y pensando que el objetivo es lograr el bienestar común, la alternativa B sería la electa, pero como esto no cabe en un proceso puro de votación, seguramente la votación se inclinaría hacia A.

Podría argumentarse que los procesos de votación pura casi no existen y esto casi no existe y esto tiene mucho de verdad, habiéndose diseñado en la actualidad distintos mecanismos para lograr una mayor eficiencia cuando se busca el bien común, aunque también debe hacerse mención de que a la par se han diseñado muchos mecanismos para manipular a los grupos de decisión.

Por lo que hace a tratar de que el grupo de decisión logre un consenso, todos hemos tenido diversas experiencias y sabemos que no es una tarea fácil, que en muchas ocasiones es imposible, siendo común el que se lleguen a soluciones donde muy pocos son los que están realmente satisfechos, mientras que el resto estima que la elección no es buena y que todo es culpa del grupo que no sabe trabajar ordenadamente.

Respecto al caso en el que una persona desea hacer aquella elección o decisión que conduzca hacia la mejor solución para la sociedad, también es común que las soluciones no sean las mejores, porque esta persona no es capaz de hacer en su mente todas las consideraciones necesarias. Esto resulta lógico si tan solo para un caso sencillo donde tengan que manejar diez alternativas, cinco atributos y tres personas, la información se estructura en una matriz de $10 \times 5 \times 3$ (150 casillas).

Antes de continuar deseo hacer la aclaración de que en este trabajo no se tiene por objeto describir como operan los distintos grupos y en consecuencia que añadidos hay que implantar para que operen mejor, el objetivo es presentar una metodología que puede conducirnos a soluciones eficientes en muchos casos. Haciéndose de las consideraciones y metodología desarrolladas en la teoría de decisiones.

2. Tipos de grupos de decisión

A continuación vamos a distinguir diferentes tipos de grupos de decisión, estos grupos se establecen de acuerdo a la forma en que participan los integrantes del grupo.

2.1 Grupos con selecciones por votación

El tratamiento de este tipo de grupos queda fuera del presente trabajo y se recomienda solo para aquellos casos en que se pretendan alcanzar soluciones denominadas "democráticas", no cuando se tenga por objetivo elegir soluciones eficientes para el grupo.

2.2 Auxiliares del decisor

Este caso corresponde a aquellos problemas en los que existe un decisor único, sin embargo, éste requiere del auxilio de otras personas tanto para estructurar el problema, como para establecer objetivos, medidas de efectividad y estructurar sus preferencias, ya sea porque el problema es muy complejo o por el grado de especialización que se requiere en algunas de sus partes. En este caso se consideran aplicables los conceptos desarrollados en las anteriores presentaciones, ya que los integrantes solo auxilian al decisor a establecer sus preferencias.

2.3 El decisor como sintetizador.

Aquí se plantea el caso de un decisor que esta inte

resado en los efectos de sus decisiones sobre otros N individuos. El objetivo de esta persona es lograr la máxima satisfacción para dichas personas. Se considera que las demás personas no tienen capacidad de decisión y que el decisor estructura sus preferencias en base a las preferencias de los N individuos integrantes del grupo.

Si el decisor piensa que sus preferencias respecto a las consecuencias de la decisión son también importantes, entonces simplemente debe transformar el problema considerando $N + 1$ individuos.

2.4 El dictador altruista

Este problema es semejante al anterior, al existir un decisor que está interesado en el efecto de sus decisiones sobre un conjunto de individuos, pero con la limitación de que no conoce cuáles son sus preferencias o bien, él piensa que esas personas no saben lo que es mejor para ellas mismas.

En este caso el decisor procede a determinar cuáles deben de ser las preferencias de dichas personas y una vez hecho esto proceder a resolver el problema como lo haría el decisor sintetizador.

Este caso es muy común, pudiendo citarse varios ejemplos:

¿Cómo van a estimar los individuos las ventajas y desventajas de varios métodos de enseñanza, si no

3

conocen ninguno?.

¿Cómo van a saber los individuos, lo bueno que es escuchar música clásica, si a priori la rechazan?.

2.5 El grupo participativo de decisión.

El grupo participativo de decisión está constituido por N individuos interesados en la selección de una alternativa y en el cual todos contribuyen en alguna medida a la toma de decisión.

Excluiremos de este caso el procedimiento de votación ya comentado, para remitirnos a aquel en que se desea seleccionar la alternativa que se considere lo más eficiente para el grupo como un todo.

2.6 Decisores y decisiones múltiples.

En este caso el grupo de decisión está constituido por ciertos individuos, cada uno de los cuales tiene capacidad de tomar una decisión y los resultados esperados dependerán de las decisiones hechas por los otros individuos.

En este tipo de grupos de decisión se cae dentro de la teoría de juegos, en el que sugestivamente se les denomina a los decisores como jugadores y a los resultados como pagos. Debido a la amplitud y complejidad de este problema no se tratará en este trabajo.

Como se puede observar la metodología propuesta es

aplicable a tres de los casos marcados, los cuales son:

- A. El decisor como sintetizador
- B. El dictador altruista
- C. El grupo participativo de decisión.

En realidad el caso B solo es una variación del primero, por lo que lo trataremos al mismo tiempo.

3. Simbología

Antes de proceder a describir las técnicas que se emplearán para plantear y resolver el problema de decisión, se indicará la nomenclatura que será utilizada.

A, B, C, ... Son las alternativas factibles

U_i Es el individuo i ésimo.

$U_i(x)$ Es la función utilidad del individuo i ésimo

$V_i(x)$ Es la función valor del individuo i ésimo.

x_i Es el nivel del atributo i ésimo

X_i Es el atributo i ésimo

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ Es un punto en el espacio de resultados.

$V(x)$ Es la función utilidad del grupo

$V(x)$ Es la función valor del grupo

λ Es una constante que servirá para ponderar las preferencias de los distintos individuos.

4. Funciones valor y utilidad del decisor como sintetizador.

Nosotros hemos asumido que el decisor debe elegir entre

4 varias alternativas. Su decisión tendrá un impacto en un número de personas en cuyos sentimientos y preferencias, el está interesado.

Nuestro problema es ¿cómo le podemos ayudar a ese decisor a estructurar y resolver su problema? en particular ¿cómo estructurar sus preferencias?

4.1 El modelo con certeza.

Para el caso en que no existe incertidumbre las preferencias del decisor quedarán representadas por una función valor de la forma

$$V(x) = f(V_1(x), V_2(x), \dots, V_n(x)) \quad (1)$$

donde:

$V(x)$ es la función valor del decisor

$V_i(x)$ Es la función valor del i ésimo individuo

Esta función valor es válida cuando:

- a) Las preferencias del decisor respecto al resultado X están dadas por las funciones valor.
- b) Las preferencias del individuo i ésimo respecto al resultado X están dados por la función valor $V_i(x)$.
- c) El decisor conoce con certeza las funciones $V_i(x)$. De no ser así el problema se transforma en uno bajo incertidumbre.

Ahora bien, si se cumplen las condiciones

1. "Independencia en preferencia"

2. "Asociación ordinal positiva"

Y que $N \geq 3$

entonces:

$$V(x) = \sum_{i=1}^N V_i^+(x) \quad (2)$$

donde:

V_i^+ es una función valor $V_i^+(V_i(x))$ que refleja las comparaciones interpersonales de preferencias hechas por el decisor, o siguiendo la técnica del valor medio podría llegarse a la siguiente expresión:

$$V(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i V_i^+(x) \quad (3)$$

donde:

$$\lambda_i > 0 \quad \forall i \quad \text{y} \quad \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N = 1$$

$V_i^+(x)$ es una función valor $V_i^+(V_i^0(x))$ que refleja las comparaciones interpersonales hechas por el decisor pero como $V_i^0(x)$ representa las preferencias del decisor sobre el individuo "i", entonces:

$$V_i^+(x) = V_i^0(x).$$

$V_i^0(x)$ Es la función valor que refleja las preferencias de los individuos, con la condición de que

$V_i^0(x) = 0$ para la alternativa menos deseado y

$V_i^0(x) = 1$ para la mejor alternativa.

4.2.1 El modelo con incertidumbre

En el caso de que exista incertidumbre por las características propias del problema y/o porque no se conozcan con certeza las estructuras de preferencias de los individuos, la estructura de prefe-

rencias del decisor se establecerá a través de una función utilidad de la forma

$$U(x) = g(u_1(x), u_2(x), \dots, u_N(x)) \quad (4)$$

donde

$U(x)$ es la función de utilidad del decisor

$U_i(x)$ es la función utilidad del individuo i ésimo.

Como puede observarse ambas formulaciones son idénticas a las que se plantearon en anteriores capítulos, habiéndose sustituido los valores terminales originales del problema por utilidades o valores de los individuos.

4.2.1 Función utilidad aditiva

Para $N \geq 2$ y si se cumplen las suposiciones

3 "Independencia en aditividad"

4 "Equivalencia estratégica"

Entonces

$$U(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i U_i(x) \quad (5)$$

donde:

$$\lambda_i > 0 \quad \forall i \quad \text{y} \quad \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N = 1$$

Por otra parte si se cumplen $U(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i U_i(x)$ entonces las suposiciones #2 y #3 están sujetadas.

4.2.2 Función de utilidad multilineal.

Para $N \geq 2$ y si se suplen las suposiciones

4 "Equivalencia estratégica"

5 "Independencia en utilidad"

Entonces

$$U(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i U_i(x) + \sum_{\substack{i=1 \\ J>i}}^N \lambda_{iJ} U_i(x) U_J(x) + \dots +$$

$$\lambda_{12 \dots N} U_1(x) U_2(x) \dots U_N(x) \quad (6)$$

donde

$$0 \leq \lambda_i \leq 1 \text{ y}$$

λ_{iJ} no están restringidas en valor

$$\text{y } \sum \lambda_i = 1$$

Para el caso de un problema con tres individuos la función queda como

$$U(x) = \lambda_1 U_1(x) + \lambda_2 U_2(x) + \lambda_3 U_3(x) + \lambda_{12} U_1(x) U_2(x) + \lambda_{13} U_1(x) U_3(x) + \lambda_{23} U_2(x) U_3(x) + \lambda_{123} U_1(x) U_2(x) U_3(x) \quad (7)$$

4.2.3 Función de utilidad multiplicativa.

Para $N \geq 3$ y si se cumplen las suposiciones

1 "Independencia en preferencia"

4 "Equivalencia estratégica"

5 "Independencia en utilidad"

$$U(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i U_i(x) + \sum_{\substack{i=1 \\ J>i}}^N \lambda_i \lambda_J U_i(x) U_J(x) + \dots +$$

$$\lambda^{N-1} \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_N U_1(x) \dots U_N(x) \quad (8)$$

$$0 < \lambda_i < 1 \forall i, \text{ y } \lambda > -1. \text{ y } 1 + \lambda = \prod_{i=1}^N (1 + \lambda \lambda_i)$$

6

Para un problema con tres atributos esta función queda como:

$$U(x) = \lambda_1 U_1(x) + \lambda_2 U_2(x) + \lambda_3 U_3(x) + \lambda \lambda_1 \lambda_2 U_1(x) U_2(x) + \lambda \lambda_1 \lambda_3 U_1(x) U_3(x) + \lambda \lambda_2 \lambda_3 U_2(x) U_3(x) + \lambda^2 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 U_1(x) U_2(x) U_3(x) \quad (9)$$

4.3 Demostración de la validez de las suposiciones

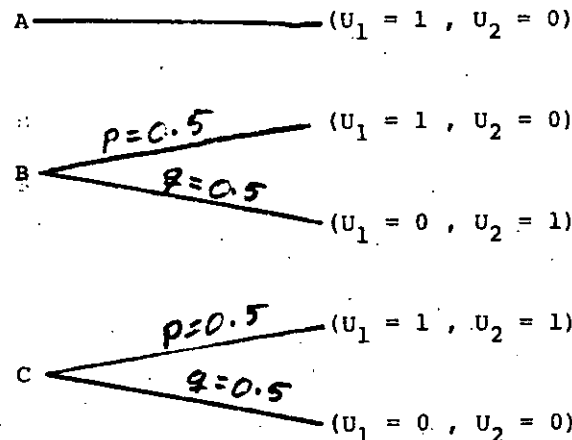
4.3.1 Suposición # 3 "Independencia en aditividad"

Supongamos que el decisor esta interesado en las preferencias de dos individuos 1 y 2 y que por simplicidad supone que

$$U(x) = 0.5 U_1(x) + 0.5 U_2(x) \quad (10)$$

donde U_i representa la utilidad del i ésimo individuo, teniendo valores entre 0 y 1.

Ahora consideremos estas alternativas



Usando (10) el decisor será indiferente entre las tres alternativas, al ser su utilidad esperada

$$U(x) = 0.5.$$

Pero al observar las alternativas notamos que la alternativa A no es justa para el individuo 2, ya que mientras el individuo 1 recibe con certeza su mejor resultado, el también con certeza recibirá el resultado que le es más desfavorable.

En atención a lo anterior y queriendo el decisor ser más justo, piensa que son mejores las alternativas B y C, donde cada individuo tiene un 50 por ciento de posibilidades de recibir su mejor resultado, o su resultado más desfavorable.

Ahora observa que con C los dos individuos reciben su consecuencia preferida, o su consecuencia menos preferida, lo cual considera que es un resultado equitativo.

Mientras que en B si un individuo recibe su mejor consecuencia el otro recibe la peor, lo cual le parece que no es equitativo.

En las alternativas B y C, si bien los resultados a priori son equitativos, a posteriori los resultados de la alternativa B no lo son.

Sin embargo todas estas observaciones no pueden reflejarse en (10) donde se supone que para él todas las alternativas le son indiferentes.

Al usar otra función de utilidad (6)

$$U(x) = \lambda_1 U_1(x) + \lambda_2 U_2(x) + \lambda_{12} U_1(x) \cdot U_2(x) \quad (11)$$

donde

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{12} = 1$$

Supongamos que para el ejemplo

$$U(x) = .4U_1(x) + .4U_2(x) + .2 U_1(x) U_2(x)$$

Entonces las utilidades esperadas para las alternativas A, B y C son 0.4, 0.4 y 0.5, respectivamente.

De esta manera puede afirmarse que las funciones de utilidad multilineal o multiplicativa permiten tomar en cuenta aspectos de equidad posterior.

De acuerdo con lo anterior puede afirmarse que si en un problema desean tomarse en cuenta aspectos de equidad, entonces no es válida la función de utilidad aditiva y que por tanto no es válida la suposición # 3 "Independencia en aditividad".

4.3.2 Suposición #5 "Independencia en utilidad"

La utilidad para el atributo U_i para $i=1,2,\dots,N$ es independiente de los otros atributos.

Para ilustrar este caso, consideremos el siguiente ejemplo;

Todos los individuos menos uno (k) son indiferentes, entre dos alternativas A y B.

Si en esas alternativas la utilidad de los otros individuos es baja y para el individuo k mismo en la A es alta y en la B es baja, acorde con la suposición 5 el decisor debería preferir la alternativa A, sin embargo, si debido a presiones del grupo o de cualquier otro tipo el decisor tiene dudas, la suposición 5 no se cumple.

La interpretación de esto es que el decisor en aras de la equidad esta dispuesto a sacrificar la utilidad de un elemento aunque los demás no ganen nada. Esta condición debe satisfacerse para todos los individuos es decir desde $i=1$ hasta $i=N$.

Otro caso en el que no se cumplirá esta condición es cuando el individuo k se encuentra en una clase superior y por tanto el decisor no esta dispuesto a que tenga una utilidad baja mientras el resto la tiene alta.

4.3.3 Suposición # 1 "Independencia en preferencia"

Se dice que $\{U_i, U_j\}$ es independiente en preferencia de su complemento \bar{U}_{ij} no depende del nivel de \bar{U}_{ij} .

Esta condición se satisface si todos los miembros

8

del grupo son de alguna manera iguales en importancia.

Si esto no se cumple el decisor puede establecer diferencias entre grupos usando la ecuación 8, pero esto no lo puede hacer en la ecuación 6.

4.3.4 Suposición # 2 "Asociación ordinal positiva" y Suposición # 4 "Equivalencia estratégica"

Las suposiciones 2 y 4 son similares en espíritu, puesto que lo que ellas requieren para cumplirse es que el decisor tome las preferencias individuales como propias. En general esto ^{se} satisface para muchos problemas, sin embargo, el decisor puede que no acepte esta suposición si el siente que alguno de los dos siguientes problemas esta presente.

- a) Alguno de los individuos no comunicó honestamente sus preferencias.
- b) Algun individuo no conoce que es lo mejor para si mismo.

En el segundo caso, y aun en el primero, el decisor puede actuar como un dictador altruista y hacer las correcciones pertinentes.

5. El grupo participativo de decisión.

Si se tiene un grupo participativo de decisión, el

grupo como un todo debe verificar las suposiciones 1 o 6 y asignar las constantes λ_i , mientras que las funciones valor V_i y las funciones de utilidad U_i pueden ser asignadas por cada uno los individuos del grupo.

Para las suposiciones y constantes es necesario que el grupo llegue a un consenso. Esto puede ser relativamente fácil en las verificaciones de las suposiciones.

El acuerdo entre las constantes de escala en algunos casos será muy difícil de lograr. Como previamente indicaremos esas constantes pueden promover cierto tipo de equidad entre los miembros del grupo y proporcionan una oportunidad para que los distintos miembros del grupo queden protegidos, al evitarse que se concentren todos los beneficios en solo algunos individuos, pudiendose así facilitar el consenso.

Cuando el consenso no puede ser alcanzado, el trabajo realizado no es uno, ya que el proceso seguido les permite identificar cuales son los puntos de desacuerdo, lo cual constituye una base para posteriores discusiones y compromisos.

En el caso de que no se llegue prontamente a un acuerdo, se recomienda hacer un análisis de sen-

sibilidad con los diferentes criterios, con el fin de establecer en el espacio de resultados cuales son las diferencias, posiblemente así se favorezca el consensor.

6. Ventajas de la formalización y algunas consideraciones pragmáticas.

Podemos decir que en el contexto de grupos existen tres etapas que el decisor sigue para articular su función de utilidad.

- a) Especificación de objetivos y atributos x_1, x_2, \dots, x_m .
- b) Establecimiento de funciones individuales de utilidad.
- c) Obtención de la función de utilidad del grupo.

El trabajo detallado en la especificación de los objetivos y los atributos y funciones de utilidad, ayudarán a clarificar la articulación de los resultados que son significativos en el problema, y esto puede ayudar a sensibilizar a los individuos para que entiendan mejor esos resultados. Aun más, puede ayudar a identificar de que manera puede descomponerse el problema y así facilitar el que exista una efectiva comunicación entre los miembros del

grupo y entre estos con el decisor.

Por otra parte, si el número de individuos es grande y por tanto no es posible obtener U_1, U_2, \dots, U_n , en la práctica se puede obtener información de las funciones de utilidad individuales siguiendo el siguiente proceso:

- a) Formar estratos
- b) Hacer un muestreo en cada estrato, o llamar a un experto para que le ayude haciendo las veces de los individuos, o utilizar indicadores sociales y económicos y estructurar él las preferencias de esos individuos.

BIBLIOGRAFIA

ARROW, Kenneth J.
Social Choice And Individual Values.
3a.ed., New York, Ed. John Wiley, 1966, 124 p.

KEENEY, Ralph L.; RAIFFA, Howard
Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs.
1a. ed., New York, Ed. John Wiley, 1976, 569 p.



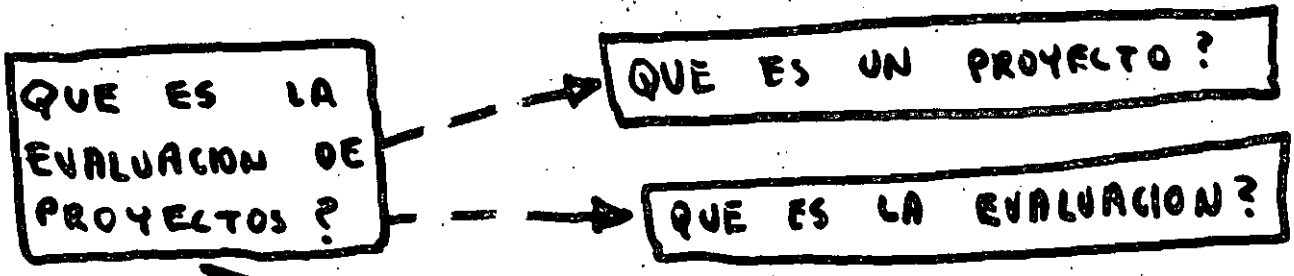
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

FUNDAMNETOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

EVALUACION DE SISTEMAS

M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON

NOVIEMBRE, 1984



ELEMENTOS PARA LLEVAR A CABO UN PROYECTO

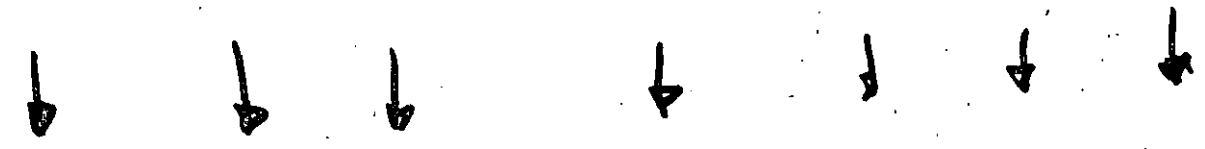
FLUJO MONETARIO EN EL TIEMPO

QUE ES LA EVALUACION DE PROYECTOS?

→ calificar recursos
 → comparar
 ↓
 decisor

PARA QUIEN EVALUAMOS?
 CON QUE CRITERIOS?

→ empresa \$
 → gobierno \$



PROBLEMAS INVOLUCRADOS

- JUSTIFICACION DEL USO
- TECNICAS ALTERNATIVAS DE PRODUCCION
- FECHA EN QUE DEBE INICIARSE EL PROYECTO

ASPECTOS A CONSIDERAR.

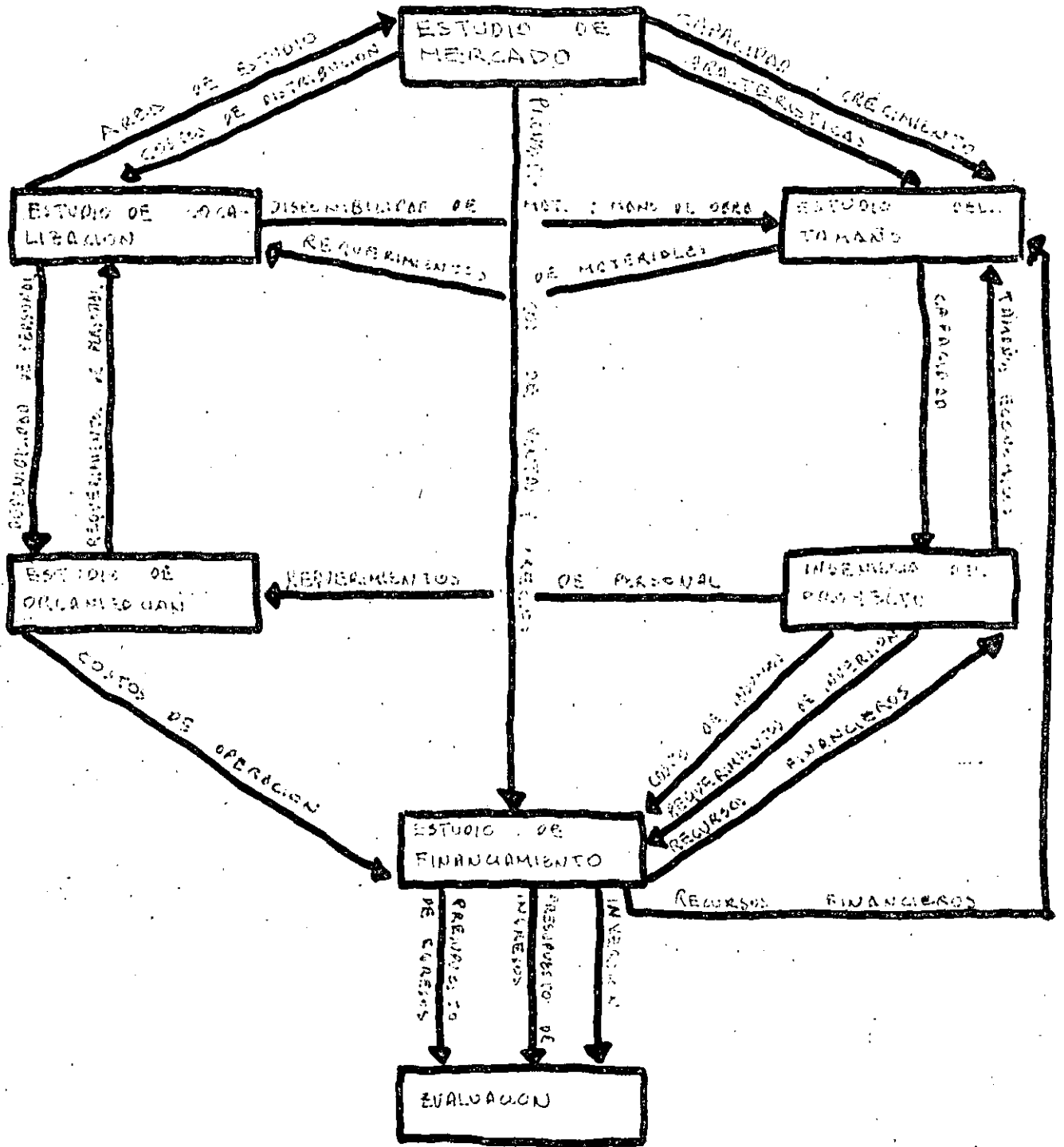
- técnicos: proceso, rendimientos, requisitos
- económicos
- financieros
- organización
- comerciales

CONTENIDO DE UN PROYECTO

1. RESUMEN Y CONCLUSIONES
2. MERCADO DE LOS INSUMOS
3. MERCADO DEL PRODUCTO
4. TAMAÑO
5. LOCALIZACION
6. TRANSPORTE
7. ASPECTOS TECNICOS
8. INVERSIONES REQUERIDAS
9. PRESUPUESTO DE INGRESOS Y GASTOS
10. FINANCIAMIENTO
11. EVALUACION PRIVADA
12. EVALUACION SOCIAL
13. ORGANIZACION

¿Quiénes intervienen?

matriz de problema-profesión



RESULTADOS DE LA EVALUACION

- TIR

- B/C

- VPN

- B-C

...

- OTROS ELEMENTOS DE EVALUACION

-- m. de o.

-- desarrollo regional

-- ahorro de divisas

-- sustitución de importaciones

-- balance de pagos

-- dependencia tecnológica

...

Trad.

¿CÓMO DEBE DE EVALUAR EL GOBIERNO?

- Pesa

- Gasolina

- Gas natural

- Aluminio

- Minas (sector privado)

perm. de imp.

instalarse

recurso.

Apoyo subsidios, etc.

EXISTE UNA EVOLUCION DEL CONCEPTO EVALUACION.

- E. {
- EVALUACION INTEGRAL
 - CORRECCION DE PRECIOS (PRECIOS DE CUENTA)

Se ve la eficiencia real

- E.S. {
- ASPECTOS DISTRIBUTIVOS DEL INGRESO
 - .. entre pobres y ricos
 - .. entre generaciones

¿SE DESECHA LA EVALUACION FINANCIERA?

Agricultores

Ganaderos X

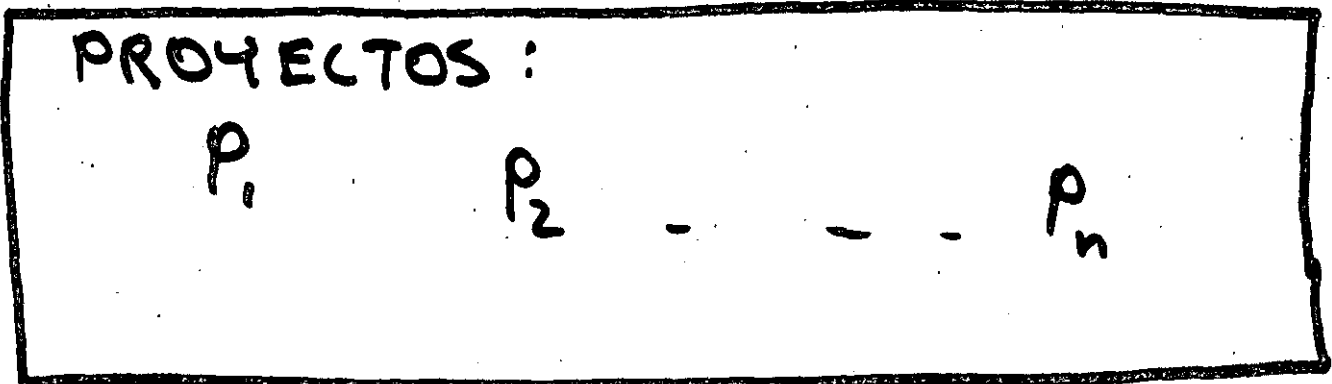
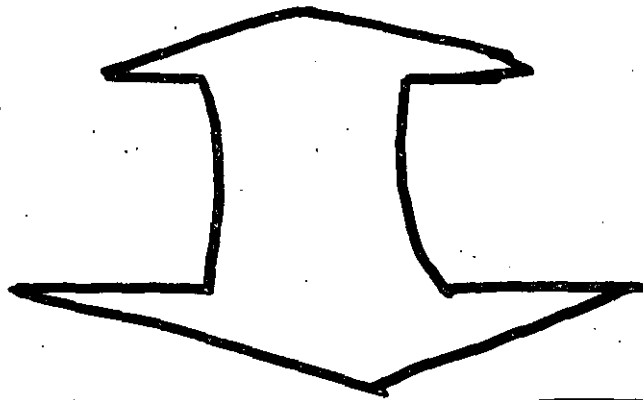
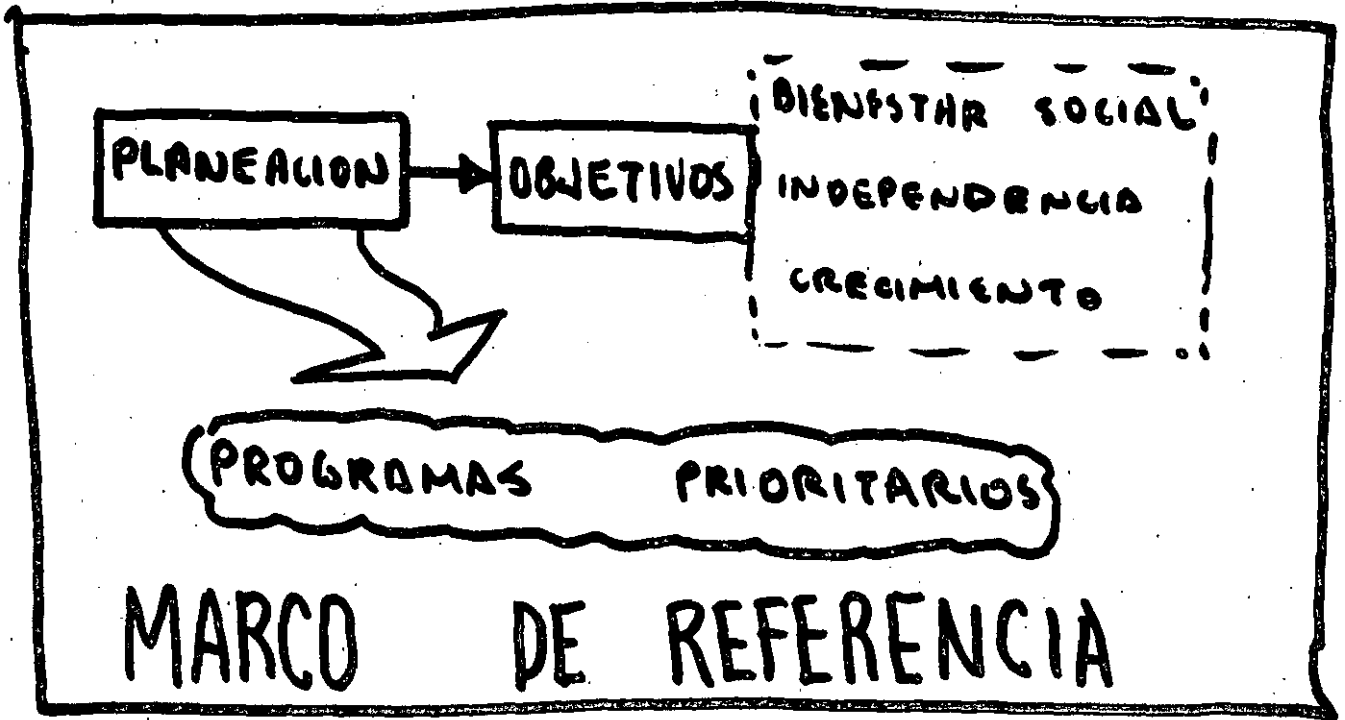
Comerciantes

Industriales

¿RAPIDEZ O DIRECCION?

¿CRECER SIN IMPORTAR HACIA DONDE?

¿DIRIGIRSE A ALGO SIN IMPORTAR RITMO?



POLITICOS

- a científico
- irracional
- ...

ANÁLISIS

U

-

O

Realidad
[pa: | tel:]

TECNICOS

- tecnócrata
- deshumanizado
- eficientista

Realidad

NEO CLASICOS

ABSTRACCIONES

1º grado (desconcentración, independencia, nac., empleo, autosuficiencia)

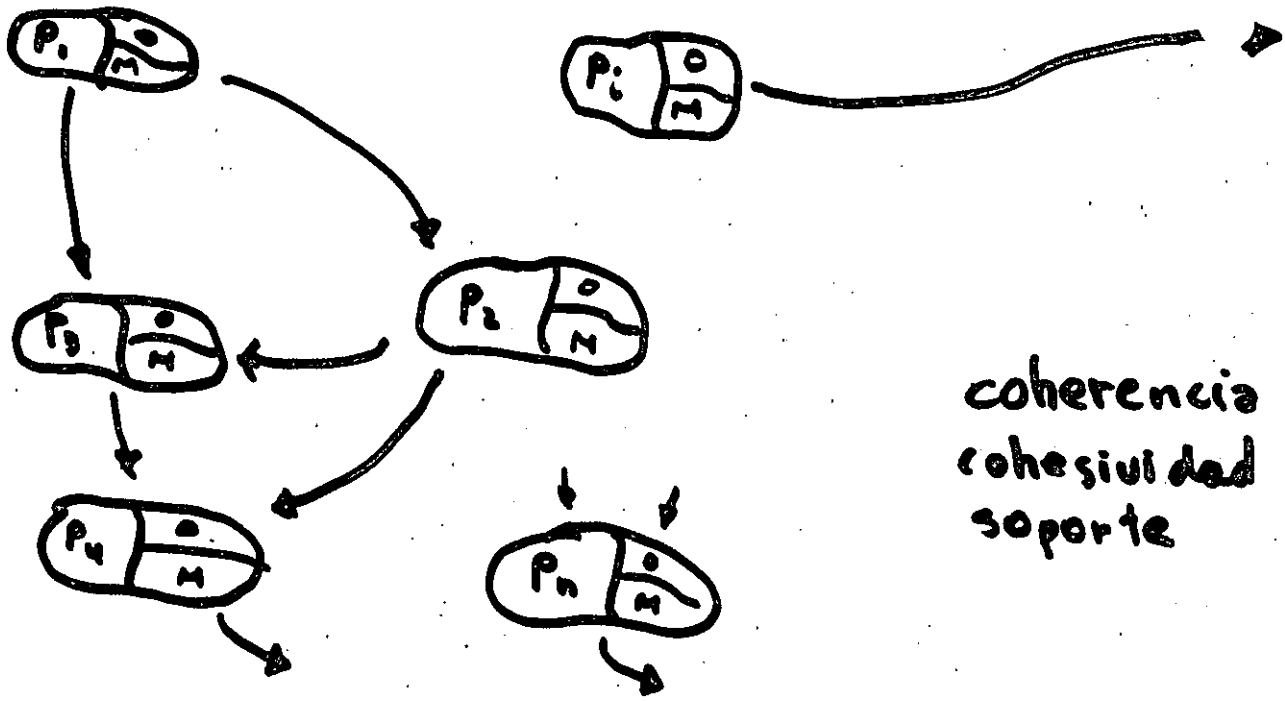


PROYECTOS SOCIALES BASICOS (singulares)

2º grado (PIB, # empleos / sector, balanza, etc.)

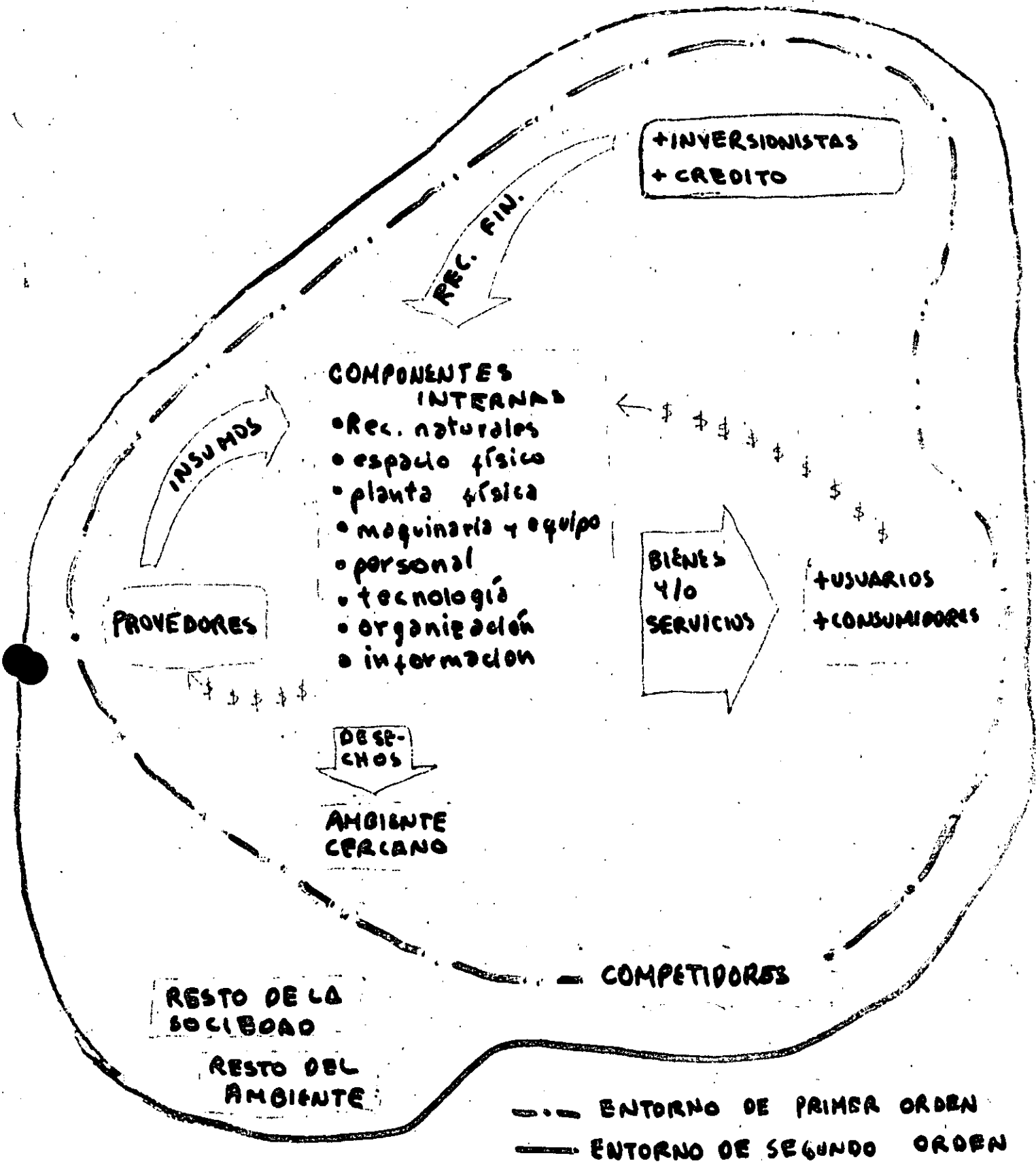
3º grado (TIR, B/C, VPN, tasa de crecimiento, capacitación)

CADENA DE PROYECTOS



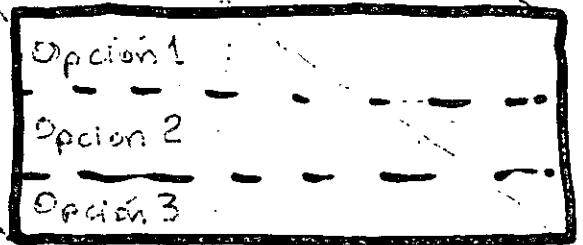
¿ CUANDO EVALUAR ?

¿ PARA QUIEN ?



MODELO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA PRODUCTIVO.

Actores \ Impactos	Fin	Eco	Soc.	Pol	Cul	Tec	Ecol	Este	etc.
Propietarios	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Personal	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Financieros	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Proveedores	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Usuarios	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Competidores	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Soc. cercana	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Resto de la Soc.	·	·	·	·	·	·	·	·	·





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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DISEÑO DE SISTEMAS

M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON

NOVIEMBRE, 1984

CONTENIDO (1)

1. EL MOVIMIENTO DE LOS SISTEMAS
2. NECESIDAD DEL DISEÑO DE SISTEMAS
3. DISEÑO NORMATIVO
4. FACTORES DE DISEÑO

I. EL MOVIMIENTO DE LOS SISTEMAS (2)

NUESTRA ÉPOCA SE DISTINGUE POR:

UNA NUEVA ACTITUD DE LA SOCIEDAD

VELOCIDAD DE CAMBIO

UNA MAYOR INTERACCIÓN ENTRE LOS SISTEMAS

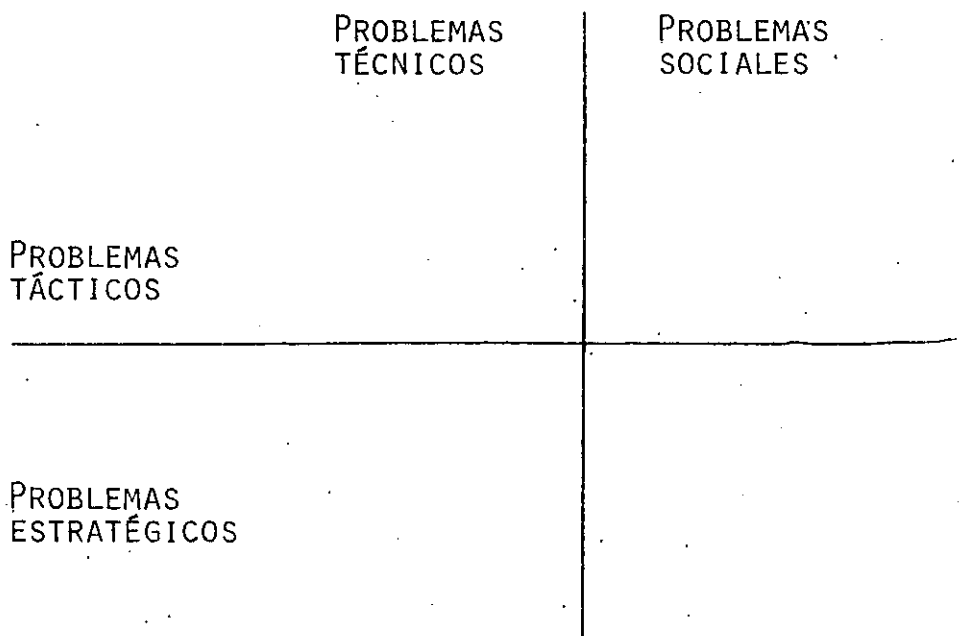
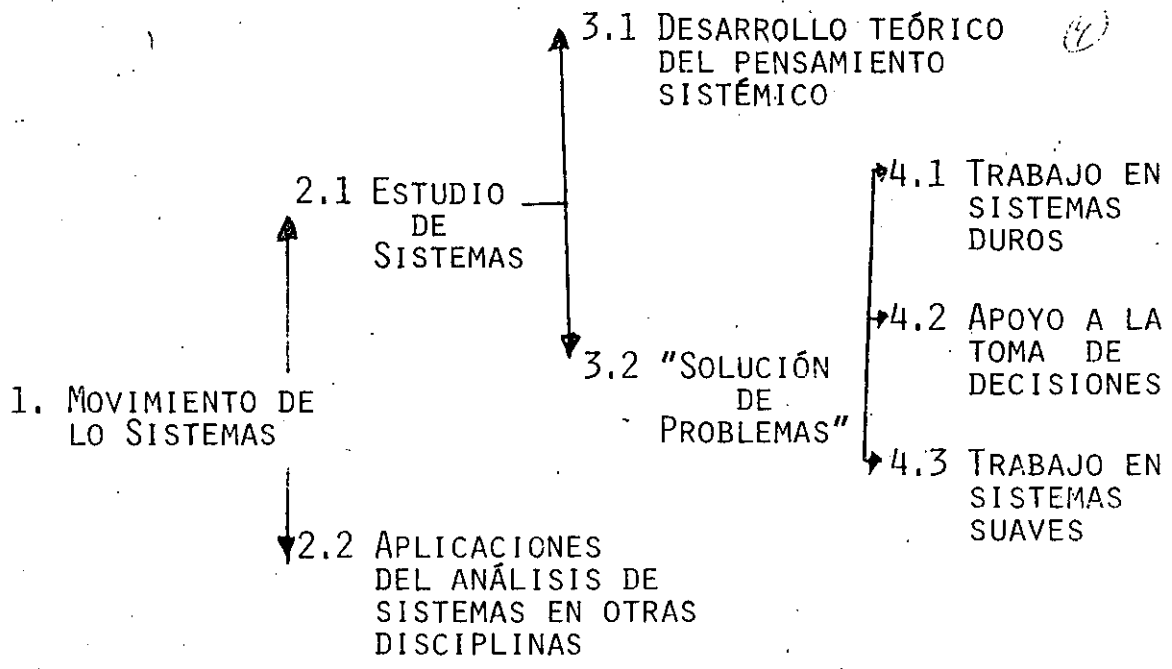
PODEMOS MARCAR LA 2^A GUERRA MUNDIAL COMO EL INICIO DE UN NUEVO MOVIMIENTO QUE SE HA DENOMINADO COMO DE LOS SISTEMAS.

DENTRO DE ESTE MOVIMIENTO EXISTE UNA GRAN CONFUSIÓN, HABIÉNDOSE CREADO UNA GRAN VARIEDAD DE DISCIPLINAS TALES COMO:

INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES
CIENCIA DE LA ADMINISTRACIÓN
ANÁLISIS DE SISTEMAS
INGENIERÍA DE SISTEMAS: DUROS Y SUAVES
CIBERNÉTICA
TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS,
ETC.

SIENDO COMÚN ESCUCHAR COMENTARIOS COMO:
¿CUÁL ENGLOBA A CUÁL?
¿SON LO MISMO?

¡NO ENTIENDO!



II NECESIDAD DEL DISEÑO DE SISTEMAS (E)

¿DISEÑO DE SISTEMAS?

CUANDO CONSIDERAMOS LOS PROBLEMAS MÁS CRÍTICOS DE NUESTRO TIEMPO, TALES COMO:

DETERIORO AMBIENTAL

POBREZA

SALUD

EDUCACIÓN

CRIMEN

ALIMENTACIÓN

INFLACIÓN

TRANSPORTE

SE OBSERVA QUE ES VIRTUALMENTE IMPOSIBLE TRATARLOS COMO PROBLEMAS AISLADOS, QUE LO QUE SE CONSIDERA COMO SOLUCIÓN DE UNA CLASE DE PROBLEMAS PUEDE GENERAR PROBLEMAS DE OTRA CLASE.

LOS "SISTEMAS" ESTÁN CONSTITUIDOS POR UN COMPLEJO DE PROCESOS INTERACTUANDO E INSTITUCIONES Y PERSONAS QUE DISEÑAN, PRODUCEN, DISTRIBUYEN, COMERCIALIZAN, CONSUMEN.

ESTOS COMPLEJOS NO SON SISTEMAS ORGANIZADOS; SON UN AGREGADO DE PARTES CONTROLADAS INDEPENDIENTEMENTE.

EL EFECTO ACUMULATIVO DE MEJORAMIENTO DE LAS PARTES, TOMADAS SEPARADAMENTE, RARAS VECES PRODUCE UN MEJORAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO TOTAL DEL SISTEMA.

UN AUTOMÓVIL

UNA BIBLIOTECA

EL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DEPENDE MÁS
DE LA INTERACCIÓN DE SUS PARTES QUE DE LA
ACCIÓN DE ÉSTAS CONSIDERADAS INDEPENDIENTE-
MENTE.

UN SISTEMA DE PROBLEMAS



UN SISTEMA DE SOLUCIONES

CUANDO EL REDISEÑO DE UNA PARTE ES HECHO INDEPENDIENTEMENTE DEL REDISEÑO DE OTRAS PARTES, EL RANGO DE POSIBILIDADES QUE SON CONSIDERADAS FACTIBLES ES SEVERAMENTE LIMITADO.

HACIENDO COMBINACIONES DE CAMBIOS EN LAS PARTES UNO PUEDE CONTEMPLAR GRANDES EFECTOS POTENCIALES EN EL SISTEMA.

III DISEÑO NORMATIVO

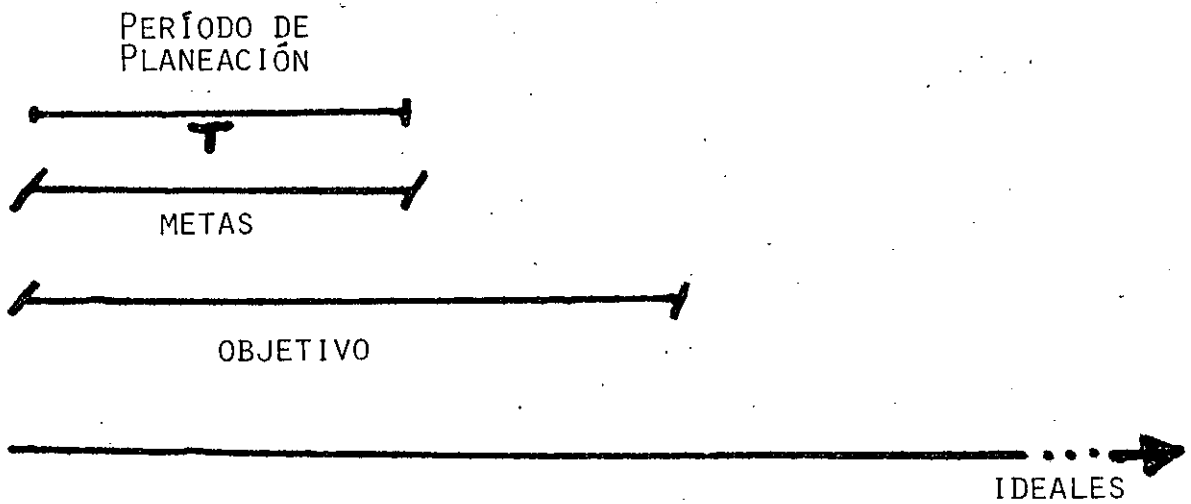
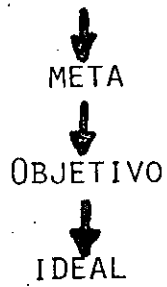
TRADICIONALMENTE SE HA PLANEADO EN BÚSQUEDA DE RESULTADOS Y SE IGNORAN LAS CONSECUENCIAS, LO CUAL HA MOSTRADO SER MUY COSTOSO.

ESTO ES PRODUCTO DE UNA VISIÓN TECNO-UTILITARIA, RESULTADO DE UNA CULTURA ALTAMENTE COMPETITIVA ORIENTADA A ALCANZAR RESULTADOS.

LO QUE SE HA CONOCIDO COMO PLANEACIÓN POR OBJETIVOS MEJOR DEBERÍA CONOCERSE COMO PLANEACIÓN O ADMINISTRACIÓN POR METAS.

TENEMOS UNA CADENA

ACCIÓN - RESULTADO - CONSECUENCIA

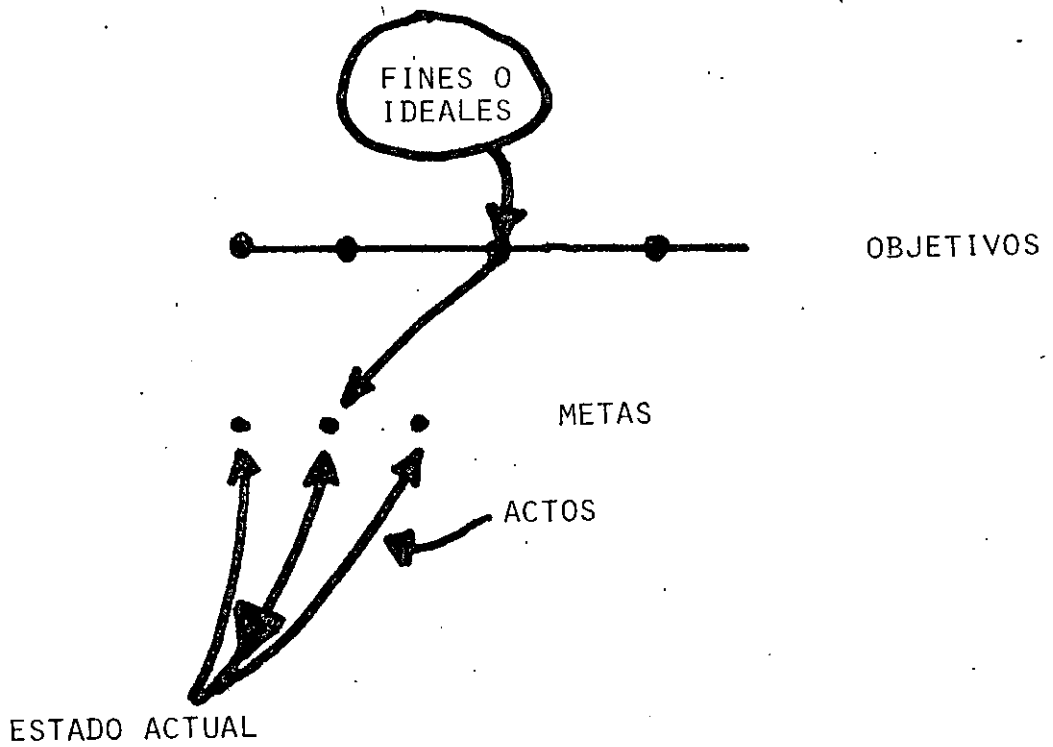


EN MUCHOS ESQUEMAS DE PLANEACIÓN NO SE CONSIDERA LA CONECCIÓN ENTRE RESULTADO Y CONSECUENCIA, O BIEN, ENTRE META-OBJETIVO-IDEAL.

PUEDE LLEGARSE A AFIRMAR QUE SE HA PLANEADO SIN CONTAR CON UNA BASE DE OBJETIVOS FIRMEMENTE ESTABLECIDOS.

LOS CONCEPTOS DE OBJETIVO E IDEAL PERMITEN SUGERIR UN SUTIL CAMINO QUE ENLACE LA BRECHA EXISTENTE ENTRE METAS Y OBJETIVOS (O RESULTADOS Y CONSECUENCIAS).

- 1º VISUALIZACIÓN DE FINES
- 2º FIJACIÓN DE OBJETIVOS
- 3º FIJACIÓN DE METAS
- 4º DISEÑO DE ACTOS

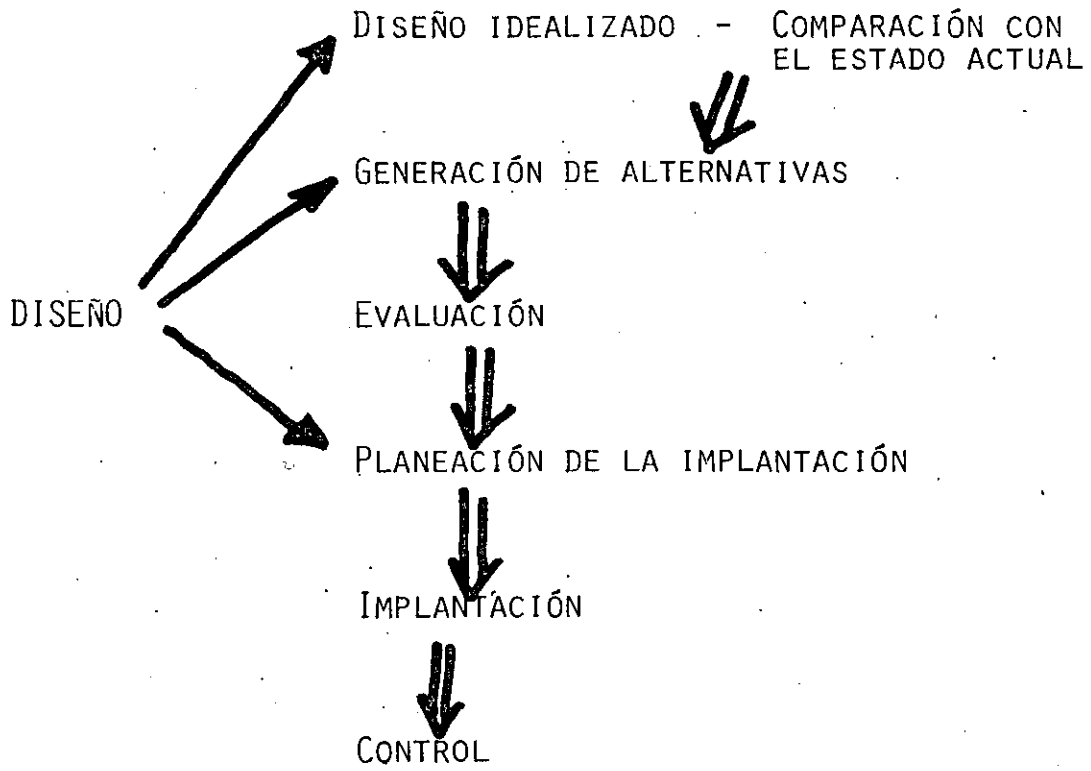


PROCESO DE IDEALIZACION**RESTRICCIONES:**

- A) TECNOLÓGICAMENTE FACTIBLE
- B) OPERACIONALMENTE VIABLE
- C) CONOCIMIENTO, INFORMACIÓN, COMPRESIÓN Y DISCERNIMIENTO

VENTAJAS:

- A) SE PASA DE UNA ORIENTACIÓN RETROSPECTIVA A UNA PROSPECTIVA
- B) PERMITE UNA AMPLIA PARTICIPACIÓN
- C) PERMITE QUE SE GENERA MÁS FÁCILMENTE CONSENSO
- D) ALIENTO A LOS QUE PARTICIPAN A TENER UNA VISIÓN GLOBAL, MÁS QUE A ENFOCARSE EN UNA O MÁS PARTES CON EXCLUSIÓN DE LAS OTRAS.
- E) GENERA UN COMPROMISO PARA EL PROGRESO HACIA LOS IDEALES
- F) INDUCE UNA MAYOR CREATIVIDAD AL RELAJARSE RESTRICCIONES
- G) AMPLÍA LA FRONTERA DE LO QUE SE CONSIDERA FACTIBLE.



IV. FACTORES DISEÑO

DISEÑO DE LA ORGANIZACION

DISEÑO POR FACTIBILIDAD ECONOMICA

DISEÑO POR SOPORTABILIDAD

DISEÑO POR MANTENIBILIDAD.

DISEÑO POR CONFIABILIDAD

BIBLIOGRAFIA

CHECKLAND, PETER B. SYSTEMS THINKING SYSTEMS PRACTICE, JOHN WILEY, 1981.

ACKOFF, RUSSELL L. EL ARTE DE RESOLVER PROBLEMAS. LIMUSA, 1981.

OZBEKHAN, HASAN. THE EMERGING METHODOLOGY OF PLANNING. FIELDS WITHIN FIELDS, No. 10, 1974, pp. 68-80.

BLANCHARD AND FABRYCKY. SYSTEMS ENGINEERING AND ANALYSIS. PRENTICE HALL, 1981.



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

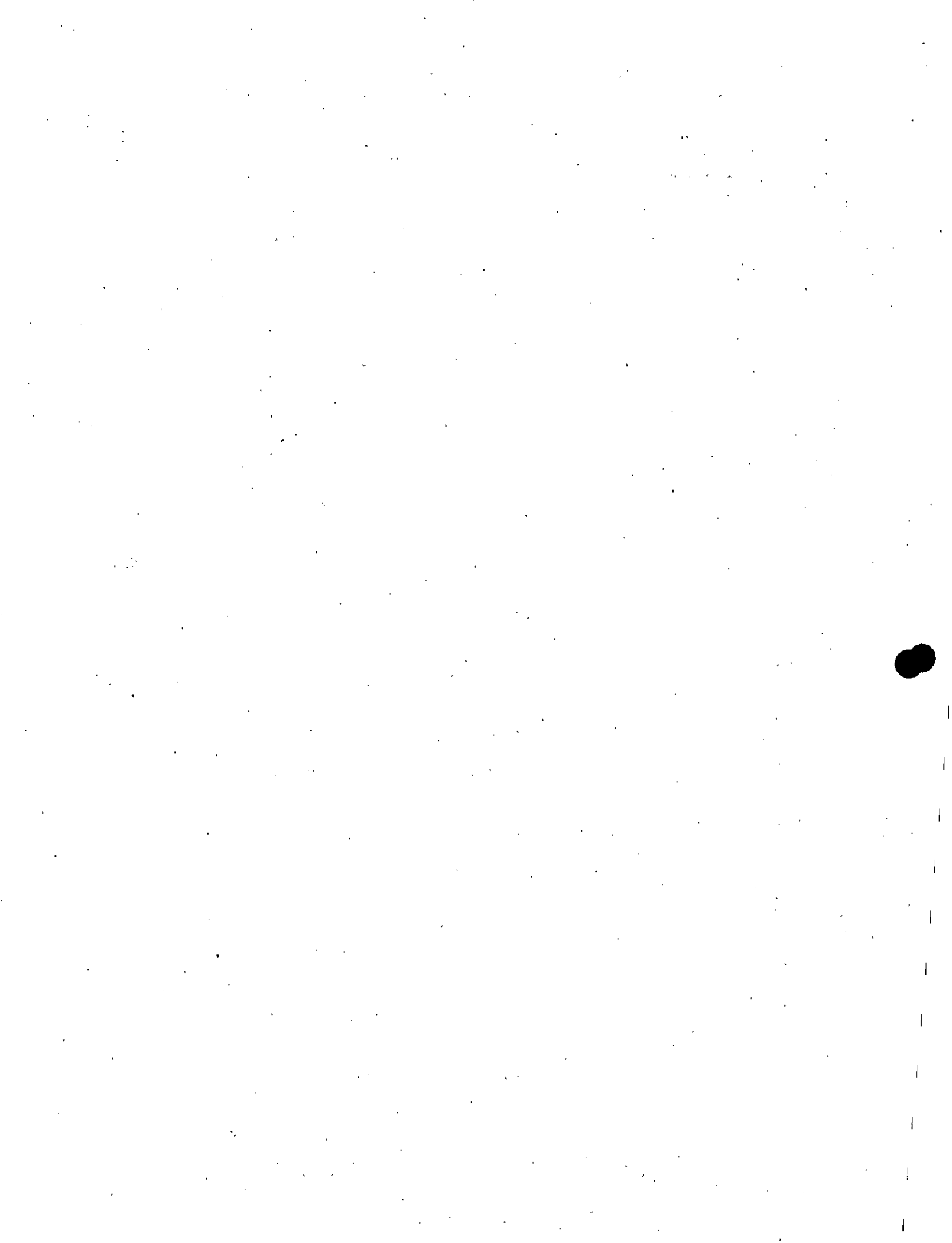
FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ECONOMETRIA:

MEDICION DE SISTEMAS PARA ANALISIS

ING. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

NOVIEMBRE, 1984



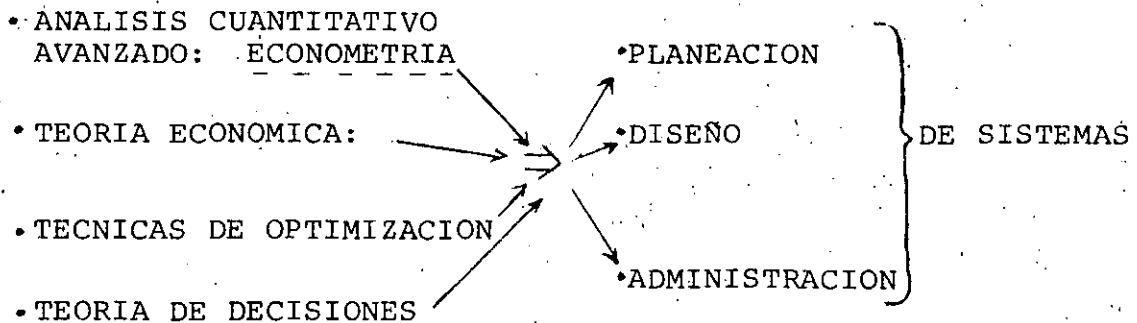
C O N T E N I D O

1. INTRODUCCION
2. EL ENFOQUE ECONOMETRICO
3. MODELOS ECONOMETRICOS
4. DATOS Y DATOS REFINADOS
5. METODOS ECONOMETRICOS
6. IDENTIFICACION Y ESTIMACION DE MODELOS
7. APLICACIONES

1. INTRODUCCION

1. El análisis de sistemas de ingeniería, los procedimientos de planeación, diseño y administración de sistemas físicos de gran escala, forman un nuevo campo de resultados sorprendentes, que ha sustentado su desarrollo en la explotación de las capacidades crecientes de procesamiento de información de los computadores.
2. El análisis de sistemas busca integrar la potencia del análisis cuantitativo avanzado y la riqueza conceptual de la teoría económica en el diseño y evaluación de sistemas:

A N A L I S I S D E S I S T E M A S



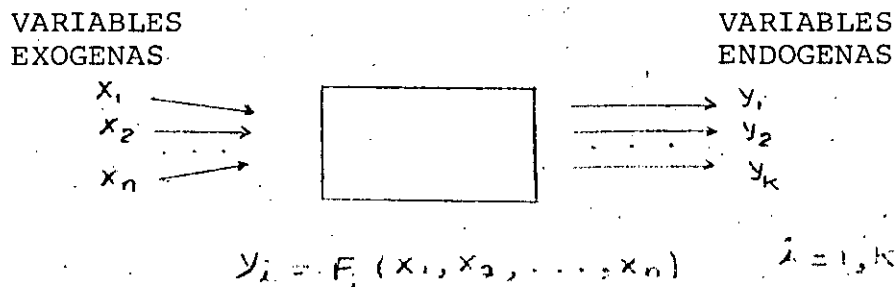
3. Estas notas son una síntesis introductoria a una de las herramientas del análisis de sistemas:

LA ECONOMETRIA

4. Elementos Básicos de un Análisis Sistemático:

- Definición de Objetivos. Ningun análisis lógico puede proceder sin precisar, establecer explícitamente los propósitos.
- Formulación de Medidas de Efectividad. El propósito final de un proceso de análisis es desarrollar una apreciación para la efectividad relativa con la cual las alternativas elegidas satisfacen un conjunto de metas.
- Generación de Alternativas. Dado que el objetivo global del análisis es descubrir y especificar soluciones, se sigue que el analista debe llevar a cabo un considerable esfuerzo para la exploración de un amplio rango de posibles soluciones.
- Evaluación de Alternativas. Consiste en asociar cada alternativa con su efecto: costos, beneficios, impactos sobre la comunidad, efectividad funcional considerada en una variedad de formas.
- Selección. Consiste en un exámen de los efectos como son considerados en la evaluación de cada alternativa, un comparación de su valor relativo, y una decisión respecto a cual conjunto es preferible. Selección es el arte de balancear todas las consecuencias.

- 4
5. El análisis de sistemas utiliza descripciones cuantitativas de sistemas de manera que pueda optimizarse su valor.
 6. La econometría es una disciplina relacionada con la medición y definición de modelos económicos. Aplica métodos estadísticos al problema de obtener estimaciones precisas de aspectos cuantitativos del comportamiento de sistemas.
 7. La econometría emplea modelos de tipo causal, caracterizados porque explican un conjunto de variables denominadas endógenas o dependientes, a partir de otro conjunto de variables denominadas exógenas o independientes:



8. La econometría se especializa en la medición y definición de modelos causales de sistemas y de este modo es particularmente útil para el análisis de sistemas. El propósito final del análisis econométrico es calcular los parámetros de las relaciones tecnológicas y de comportamiento que gobiernan el comportamiento global del sistema que es estudiado.

5

2. EL ENFOQUE ECONOMETRICO.

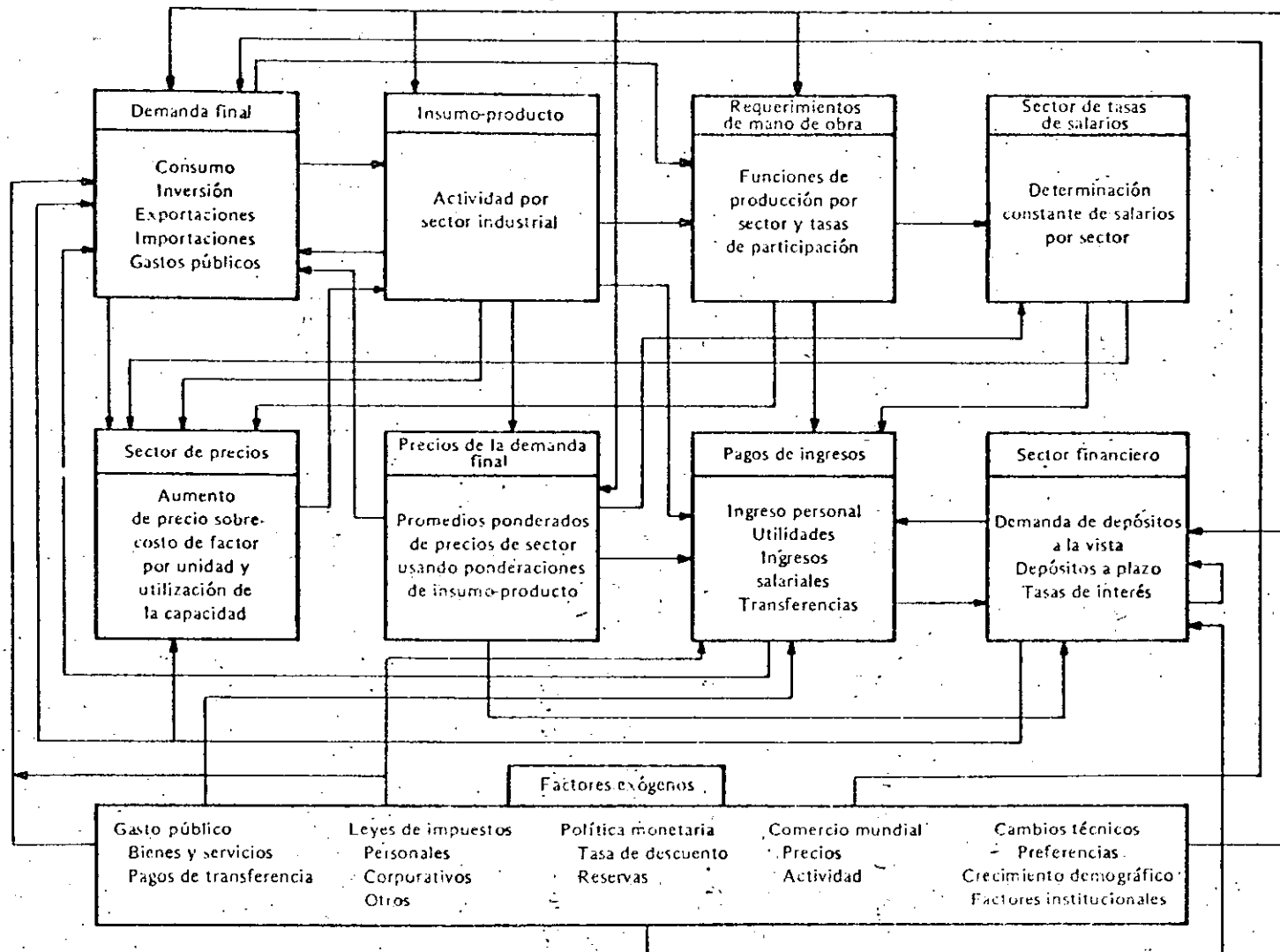
1. En el enfoque econometrico se combina:

- Un modelo econométrico, que resume la teoría relevante al sistema bajo consideración.
- Un conjunto de datos refinados, que es la información cuantitativa depurada del conjunto de hechos, refiriendo los eventos que en el mundo real se presentan con respecto al fenómeno bajo investigación.
- Un conjunto de métodos econométricos que se utilizan para estimar los modelos econométricos usando los datos refinados.

2. Los resultados en el enfoque econométrico o los tres propósitos principales de la econometría pueden ser:

- El análisis estructural, que es el empleo de un modelo econométrico estimado para la medición cuantitativa de una relación económica.
- Pronósticar, que es el uso de un modelo econométrico estimado para predecir valores cuantitativos de ciertas variables fuera del conjunto de datos observados.
- Evaluar políticas, que es el empleo de un modelo econométrico para elegir entre políticas alternativas.

Flujos del Whurton Long Term Model



- 21
7. La figura anexa muestra los flujos del Modelo de Wharton, una variante de este modelo ha sido desarrollado para la economía mexicana.
 8. Resultados de la evolución y pronósticos de un modelo econométrico para México, desarrollado por Abel Beltran del Rio, (director del Departamento de Investigaciones Económicas de México (DIEMEX), de Wharton EFA (WEFA), en la Universidad de Pensilvania), se muestra en las siguientes hojas.
 9. Un modelo para el análisis de la inflación en México es el siguiente:

$$\Delta LP_t = -0.003 + 0.6 (\Delta LM_t - \Delta LY_t) + 0.156 \Delta LW_t + \\ + 0.26 \Delta (LPE_t + LTC_t) + 0.003 \Delta \pi_t^e$$

$$R^2 = 0.073$$

$$DW = 1.75$$

10. De acuerdo a este modelo, la inflación en México en el período 1961-1980 se explica por el desequilibrio monetario, ajustes salariales y la inflación externa. La variable dominante en la explicación de los precios es el exceso de oferta de dinero con relación a su demanda (60%), la inflación externa prácticamente duplicó su contribución a la explicación de la inflación interna (26%), y la importancia de los salarios como factor causal de la inflación es de 16%, reduciéndose a la mitad de la década anterior.

CUADRO 1

Modelo teórico clásico. Proyección del sexenio 1971-1976
Generación de la demanda agregada
(Miles de millones de pesos de 1950)

		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto	PIB	122.67	132.34	142.53	152.27	162.80	174.06	186.26	199.32	213.30
2. Más: balanza de pagos a factores	BF	2.27	1.84	1.44	1.54	1.63	1.74	1.90	2.08	2.28
3. Producto nacional bruto	PNB	120.40	130.50	141.09	150.73	161.17	172.32	184.36	197.24	211.02
4. Demanda agregada interna	DAI	123.68	133.89	145.98	155.77	166.18	177.63	189.94	203.31	217.50
5. Consumo	C	99.96	108.16	118.69	127.20	135.32	144.28	153.69	163.93	174.84
6. Privado	CP	92.65	100.14	110.26	118.45	125.78	133.93	142.39	151.64	161.56
7. Público	CG	7.31	8.02	8.43	8.75	9.54	10.35	11.30	12.29	13.28
8. Inversión	IT	23.72	25.73	27.29	28.57	30.86	33.35	36.26	39.38	42.66
9. Bruta fija	I	21.70	23.51	25.21	26.33	28.64	30.99	33.78	36.55	39.55
10. Privada	IP	11.93	12.89	13.84	14.85	15.95	17.12	18.39	19.74	21.20
11. Pública	IG	9.76	10.62	11.37	11.48	12.69	13.87	15.39	16.81	18.35
12. Cambio en inventarios	IC	2.02	2.22	2.08	2.24	2.22	2.36	2.48	2.83	3.11
13. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	BBSF	- 3.28	- 3.39	- 4.89	- 5.04	- 5.01	- 5.30	- 5.58	- 6.07	- 6.48
14. Balanza de bienes y servicios	BBS	- 1.01	- 1.55	- 3.45	- 3.50	- 3.38	- 3.56	- 3.68	- 3.99	- 4.20
15. Exportación de bienes y servicios	EBS	11.20	12.11	12.06	12.58	13.32	13.80	14.40	14.86	15.47
16. Importación de bienes y servicios	MBS	12.21	13.66	15.51	16.08	16.70	17.37	18.08	18.85	19.67

Nota: Variables exógenas tomadas del pronóstico expansionario del modelo predictivo.

CUADRO 2

Modelo teórico marxista. Proyección del sexenio 1971-1976
Generación de la demanda agregada
(Miles de millones de pesos de 1950)

		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto	PIB	122.67	133.02	143.38	144.83	153.59	161.18	172.40	182.97	194.21
2. Más: balanza de pagos a factores	BF	- 2.27	- 1.84	- 1.44	- 1.54	- 1.63	- 1.74	- 1.90	- 2.08	- 2.28
3. Producto nacional bruto	PNB	120.40	131.18	141.94	143.29	151.96	159.44	170.50	180.89	191.93
4. Demanda agregada interna	DAI	123.67	134.55	146.79	147.83	156.55	164.32	175.69	186.52	197.90
5. Consumo	C	99.96	108.72	119.39	120.29	126.93	132.67	141.18	149.15	157.54
6. Privado	CP	92.65	100.70	110.96	111.54	117.39	122.32	129.88	136.86	144.26
7. Público	CG	7.31	8.02	8.43	8.75	9.54	10.35	11.30	12.29	13.28
8. Inversión	IT	23.71	25.83	27.40	27.54	29.62	31.65	34.51	37.37	40.36
9. Bruta fija	I	21.70	23.61	25.32	25.30	27.40	29.29	32.03	34.54	37.25
10. Privada	IP	11.93	12.99	13.95	13.82	14.71	15.42	16.64	17.73	18.90
11. Pública	IG	9.76	10.62	11.37	11.48	12.69	13.87	15.39	16.81	18.35
12. Cambio en inventarios	IC	2.02	2.22	2.08	2.24	2.22	2.36	2.48	2.83	3.11
13. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	BBSF	- 3.28	- 3.37	- 4.86	- 4.54	- 4.59	- 4.88	- 5.18	- 5.63	- 5.97
14. Balanza de bienes y servicios	BBS	- 1.01	- 1.53	- 3.42	- 3.00	- 2.96	- 3.14	- 3.28	- 3.55	- 3.69
15. Exportación de bienes y servicios	EBS	11.20	12.17	12.14	12.65	13.20	13.47	13.98	14.34	14.86
16. Importación de bienes y servicios	MBS	12.21	13.70	15.56	15.64	16.16	16.61	17.27	17.89	18.55

Nota: Variables exógenas tomadas del pronóstico expansionario del modelo predictivo.

Modelo teórico keynesiano. Proyección del sexenio 1971-1976
Generación de la demanda agregada
(Miles de millones de pesos de 1950)

		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto	PIB	122.67	132.81	143.17	148.06	157.75	166.88	178.80	190.68	203.37
2. Más: balanza de pagos a factores	BF	- 2.27	- 1.84	- 1.44	- 1.54	- 1.63	- 1.74	- 1.90	- 2.08	- 2.28
3. Producto nacional bruto	PNB	120.40	130.97	141.73	146.52	156.12	165.14	176.90	188.60	201.09
4. Demanda agregada interna	DAI	123.68	134.33	146.57	151.25	160.96	170.35	182.46	194.68	207.61
5. Consumo	C	99.96	108.55	119.23	123.09	130.67	137.85	147.16	156.45	166.31
6. Privado	CP	92.65	100.53	110.80	114.34	121.13	127.80	135.86	144.16	153.03
7. Público	CG	7.31	8.02	8.43	8.75	9.54	10.35	11.30	12.29	13.28
8. Inversión	IT	23.72	25.78	27.34	28.16	30.29	32.50	35.30	38.23	41.29
9. Bruta fija	I	21.70	23.56	25.26	25.92	28.07	30.14	32.82	35.40	38.18
10. Privada	IP	11.93	12.94	13.89	14.44	15.38	16.27	17.43	18.59	19.83
11. Pública	IG	9.76	10.62	11.37	11.48	12.69	13.87	15.39	16.81	18.35
12. Cambio en inventarios	IC	2.02	2.22	2.08	2.24	2.22	2.36	2.48	2.83	3.11
13. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	BBSF	- 3.28	- 3.36	- 4.84	- 4.73	- 4.83	- 5.21	- 5.56	- 6.08	- 6.51
14. Balanza de bienes y servicios	BBS	- 1.01	- 1.52	- 3.40	- 3.19	- 3.20	- 3.47	- 3.66	- 4.00	- 4.23
15. Exportación de bienes y servicios	EBS	11.20	12.17	12.14	12.65	13.20	13.47	13.98	14.34	14.86
16. Importación de bienes y servicios	MBS	12.21	13.69	15.55	15.83	16.40	16.94	17.64	18.34	19.09

Noja: Variables exógenas tomadas del pronóstico expansionario del modelo predictivo.

CUADRO 4

Modelo predictivo expansionario. Proyección del sexenio 1971-1976
Generación de la demanda agregada
(Miles de millones de pesos de 1950)

		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto	PIB	122.68	132.30	142.55	150.79	160.99	172.11	185.04	199.16	213.90
2. Más: balanza de pagos a factores	BF	- 2.27	- 1.84	- 1.44	- 1.54	- 1.63	- 1.74	- 1.90	- 2.08	- 2.28
3. Producto nacional bruto	PNB	120.42	130.21	141.14	150.86	162.22	174.49	188.65	204.00	219.76
4. Demanda agregada interna	DAI	123.70	133.83	145.99	155.13	166.42	178.82	193.07	208.77	224.73
5. Consumo	C	99.98	108.11	118.71	127.23	136.35	146.56	157.74	170.22	183.30
6. Consumo privado por cabeza	CPN	1.96	2.05	2.18	2.26	2.33	2.42	2.51	2.61	2.72
7. Privado	CP	92.67	100.09	110.28	118.49	126.81	136.21	146.44	157.92	170.01
8. Público	CG	7.31	8.02	8.43	8.75	9.54	10.35	11.30	12.29	13.28
9. Inversión	IT	23.72	25.73	27.29	27.90	30.07	32.27	35.32	38.55	41.43
10. Bruta fija	I	21.70	23.50	25.21	25.66	27.84	29.90	32.85	35.72	38.32
11. Privada	IP	11.94	12.89	13.84	14.19	15.16	16.04	17.45	18.91	19.98
12. Pública	IG	9.76	10.62	11.37	11.48	12.69	13.87	15.39	16.81	18.35
13. Gobierno federal	IGG	4.53	4.56	4.78	4.69	5.44	5.80	6.30	6.84	7.47
14. Sector paraestatal	IGDE	5.24	6.06	6.59	6.79	7.25	8.07	9.09	9.97	10.88
15. Cambio en inventarios	IC	2.02	2.22	2.08	2.24	2.22	2.36	2.48	2.83	3.11
16. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	BBSF	- 3.28	- 3.62	- 4.85	- 4.27	- 4.20	- 4.33	- 4.42	- 4.76	- 4.98
17. Balanza de bienes y servicios	BBS	- 1.01	- 1.79	- 3.42	- 2.72	- 2.58	- 2.59	- 2.52	- 2.68	- 2.69

(Miles de millones de pesos corrientes)

		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto	PIB	340.70	372.99	420.63	462.03	516.13	579.99	647.25	724.40	809.13
2. Más balanza de pagos a factores	BF	- 6.30	- 5.18	- 4.24	- 4.73	- 5.21	- 5.86	- 6.65	- 7.58	- 8.64
3. Producto nacional bruto	PNB	334.41	367.10	416.47	462.24	520.06	588.02	659.89	742.03	831.30
4. Demanda agregada interna	DAI	343.51	377.31	430.80	475.31	533.53	602.60	675.35	759.36	850.13
5. Consumo	C	277.64	304.78	350.28	389.84	437.13	493.87	551.78	619.13	693.39
6. Consumo privado por cabeza	CPN	5.44	5.77	6.42	6.92	7.48	8.15	8.78	9.51	10.27
7. Privado	CP	257.34	282.19	325.41	363.04	406.55	459.01	512.25	574.42	643.14
8. Público	CG	20.31	22.60	24.87	26.80	30.59	34.86	39.53	44.72	50.25
9. Inversión	IT	65.87	72.53	80.52	85.47	96.40	108.73	123.57	140.23	156.74
10. Bruta fija	I	60.25	66.25	74.38	78.62	89.27	100.76	114.90	129.93	144.97
11. Privada	IP	33.15	36.34	40.84	43.47	48.60	54.04	61.05	68.79	75.58
12. Pública	IG	27.11	29.94	33.54	35.16	40.68	46.73	53.84	61.16	69.40
13. Gobierno federal	IGG	1.57	12.86	14.10	14.35	17.44	19.53	22.05	24.88	28.25
14. Sector paraestatal	IGDE	14.54	17.09	19.44	20.81	23.23	27.20	31.79	36.28	41.15
15. Cambio en inventarios	IC	5.61	6.27	6.14	6.85	7.13	7.96	8.67	10.29	11.77
16. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	BBSF	- 9.10	- 10.22	- 14.33	- 13.07	- 13.47	- 14.58	- 15.46	- 17.33	- 18.83
17. Balanza de bienes y servicios	BBSF	- 2.80	- 5.03	- 10.08	- 8.34	- 8.26	- 8.72	- 8.81	- 9.75	- 10.19

CUADRO 5

Modelo predictivo estabilizador. Proyección del sexenio 1971-1976
 Generación de la demanda agregada
 (Miles de millones de pesos)

		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto	PIB	122.68	132.30	142.55	150.79	160.00	169.50	180.40	192.15	204.16
2. Más: balanza de pagos a factores	BF	2.27	1.84	1.44	1.54	1.61	1.69	1.83	1.97	2.12
3. Producto nacional bruto	PNB	120.42	130.21	141.14	150.86	161.02	171.60	183.67	196.69	210.10
4. Demanda agregada interna	DAI	123.70	133.83	145.99	155.13	165.12	175.49	187.22	200.21	213.48
5. Consumo	C	99.98	108.11	118.71	127.23	135.76	144.87	154.60	165.37	176.66
6. Consumo privado por cabeza	CPN	1.96	2.05	2.18	2.26	2.33	2.40	2.47	2.55	2.63
7. Privado	CP	92.67	100.09	110.28	118.49	126.41	134.92	143.89	153.90	164.42
8. Público	CG	7.31	8.02	8.43	8.75	9.35	9.96	10.71	11.47	12.24
9. Inversión	IT	23.72	25.73	27.29	27.90	29.37	30.62	32.62	34.83	36.82
10. Bruta fija	I	21.70	23.50	25.21	25.66	27.26	28.53	30.61	32.54	34.30
11. Privada	IP	11.94	12.89	13.84	14.19	14.98	15.39	16.15	17.13	17.85
12. Pública	IG	9.76	10.62	11.37	11.48	12.28	13.15	14.45	15.41	16.46
13. Gobierno federal	IGG	4.53	4.56	4.78	4.69	5.31	5.72	6.14	6.51	7.09
14. Sector paraestatal	IGDE	5.24	6.06	6.59	6.79	6.97	7.43	8.31	8.90	9.36
15. Cambio en inventarios	IC	2.02	2.22	2.68	2.24	2.11	2.09	2.01	2.30	2.53
16. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	BBSF	3.28	3.62	4.85	4.27	4.10	3.89	3.55	3.52	3.55
17. Balanza de bienes y servicios	BBS	1.01	1.79	3.42	2.72	2.49	2.20	1.72	1.54	1.27

(Miles de millones de pesos corrientes)

		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto	PIB	340.70	372.99	420.63	462.03	509.03	559.02	605.06	661.92	726.07
2. Más: balanza de pagos a factores	BF	6.30	5.18	4.24	4.73	5.11	5.58	6.15	6.80	7.51
3. Producto nacional bruto	PNB	334.41	367.10	416.47	462.24	512.28	565.94	616.02	677.55	741.06
4. Demanda agregada interna	DAI	343.51	377.31	430.80	475.31	525.33	578.77	627.92	689.67	758.09
5. Consumo	C	277.64	304.78	350.28	389.84	431.90	477.78	518.52	569.68	627.33
6. Consumo privado por cabeza	CPN	5.44	5.77	6.42	6.92	7.40	7.91	8.28	8.78	9.34
7. Privado	CP	257.34	282.19	325.41	363.04	402.15	444.95	482.61	530.16	583.87
8. Público	CG	20.31	22.60	24.87	26.80	29.75	32.83	35.91	39.52	43.46
9. Inversión	IT	65.87	72.53	80.52	85.47	93.43	100.99	109.40	120.06	130.77
10. Bruta fija	I	60.25	66.25	74.38	78.62	86.72	94.10	102.66	112.09	121.80
11. Privada	IP	33.15	36.34	40.84	43.47	47.66	50.76	54.18	59.01	63.57
12. Pública	IG	27.11	29.94	33.54	35.16	39.07	43.35	48.47	53.08	58.44
13. Gobierno federal	IGG	12.57	12.86	14.10	14.35	16.88	18.85	20.60	22.42	25.19
14. Sector paraestatal	IGDE	14.54	17.09	19.44	20.81	22.19	24.50	27.87	30.66	33.24
15. Cambio en inventarios	IC	5.61	6.27	6.14	6.85	6.71	6.88	6.74	7.91	8.97
16. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	BBSF	9.10	10.22	14.33	13.07	13.04	12.83	11.91	12.12	12.02
17. Balanza de bienes y servicios	BBS	2.80	5.03	10.08	8.34	7.93	7.25	5.75	5.32	4.51

CUADRO 6

Comparación selectiva de variables de los tres modelos teóricos y predictivo para el sexenio 1971-1976

Variable explicada	Modelo	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto: PIB	Clásico	122.67	132.34	142.53	152.27	162.80	174.06	186.26	199.32	213.30
	Marxista	122.67	133.02	143.38	144.83	153.59	161.18	172.40	182.97	194.21
	Keynesiano	122.67	132.81	143.17	148.06	157.75	166.88	178.80	190.68	203.37
	Predictivo:									
	Expansionaria	122.68	132.30	142.55	150.79	160.99	172.11	185.04	199.16	213.90
	Estabilizadora	122.68	132.30	142.55	150.79	160.00	169.50	180.40	192.15	204.16
2. Precio implícito del producto: P	Clásico	2.78	2.83	2.97	3.07	3.18	3.29	3.40	3.52	3.64
	Marxista	2.78	2.82	2.95	3.06	3.21	3.37	3.50	3.64	3.78
	Keynesiano	2.78	2.82	2.95	3.06	3.21	3.37	3.50	3.64	3.78
	Predictivo:									
	Expansionaria	2.78	2.82	2.95	3.06	3.21	3.37	3.50	3.64	3.78
	Estabilizadora	2.78	2.82	2.95	3.06	3.18	3.30	3.35	3.44	3.55
3. Balanza externa: cuenta corriente: B (BBSF)	Clásico	3.28	3.39	4.89	5.04	5.01	5.30	5.58	6.07	6.48
	Marxista	3.28	3.37	4.86	4.54	4.59	4.88	5.18	5.63	5.87
	Keynesiano	3.28	3.36	4.84	4.73	4.83	5.21	5.56	6.08	6.31
	Predictivo:									
	Expansionaria	3.28	3.62	4.85	4.27	4.20	4.33	4.42	4.76	4.98
	Estabilizadora	3.28	3.62	4.85	4.27	4.10	3.89	3.55	3.52	3.55
4. Inversión privada: bruta fija: IP	Clásico	11.93	12.89	13.84	14.85	15.95	17.12	18.39	19.74	21.29
	Marxista	11.93	12.99	13.95	13.82	14.71	15.42	16.64	17.73	18.95
	Keynesiano	11.93	12.94	13.89	14.44	15.38	16.27	17.43	18.59	19.83

BIBLIOGRAFIA

1. CIDE. (1979,1980,1981). "La Economía Mexicana". Revista del Centro de Investigación y Docencia Económica.
2. Dagum C. y Bee E. (1975), "Introducción a la Econometría". Siglo XXI.
3. De Neufville R. y Marks D.H. (1974), "Systems Planning and Design. Case Studies in Modeling, Optimization, and Evaluation". Prentice Hall.
4. De Neufville R y Stafford J.H. (1971), "Systems Analysis for Engineers and Managers". McGraw-Hill.
5. Johnston J. (1980), "Econometric Methods". McGraw-Hill.
6. Klein L.R., (1978), "Econometrics". McGraw-Hill.
7. Madala G.S. (1980), "Econometrics". McGraw-Hill.
8. Rao C.R. (1980), "Essays on Econometrics and Planning". Pergamon Press.
9. Revista de Comercio Exterior (Julio de 1973). "Los Modelos Económicos". Banco Nacional de Comercio Exterior.
10. Banco de México. (1982). Serie documentos de investigación". Subdirección de Investigación Económica.
- *11. Intriligator M.D. (1980), "Econometric Models, Techniques, & Applications". Prentice Hall.



SIMULACION DIGITAL

I N D I C E

	Pág
INTRODUCCION	1
ALGUNOS CONCEPTOS BASICOS	2
EL PROCESO DE SIMULACION	8
- DEFINICION DEL SISTEMA	9
- FORMULACION DEL MODELO	9
- OBTENCION DE DATOS	10
- SIMULACION/LENGUAJES	12
- EJEMPLO: SISTEMA DINAMICO DYNAMO	15
- EXPERIMENTACION	20
VALIDEZ	24
CONCLUSIONES	25
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION

LA SIMULACION, APOYADA EN INSTRUMENTACIONES CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS, CUBRE UN AMPLIO RANGO QUE VA DESDE LO INTUITIVO HASTA LAS TECNICAS MAS REFINADAS, DESDE DIEZ HASTA DOS MIL O MAS ECUACIONES O DESDE LA BIOLOGIA MICROCELULAR HASTA LA MACRO MIA.

EN LA ACTUALIDAD ES FACTIBLE EFECTUAR EXPERIMENTOS CONTROLADOS ACERCA DE SITUACIONES DEL MUNDO REAL, GRACIAS A LAS COMPUTADORAS QUE HACEN EL TRABAJO REQUERIDO POR LOS MODELOS MATEMATICOS QUE REPRESENTAN EL SISTEMA BAJO ESTUDIO, POR LO QUE PUEDEN ANALIZARSE CIRCUNSTANCIAS QUE RARA VEZ SE ENCUENTRAN A LA MANO, E INVESTIGARSE CAMBIOS DESAFIANTES QUE PODRIAN PARECER DEMASIA DO RIESGOSOS PARA PROBARLOS EN ORGANIZACIONES VERDADERAS.

COMO BIEN SABEMOS, LA SIMULACION RECIBIO SU PRINCIPAL IMPETU DEBIDO A LOS PROGRAMAS AEROESPACIALES PERO SU APLICACION SE EN CUENTRA AHORA EN FORMA COMUN EN EL MUNDO DE LOS NEGOCIOS (1,2, 3), ECONOMIA (4,5), MERCADOTECNIA (6,7), EDUCACION (8), POLITICA (9), CIENCIAS SOCIALES (10,11) CIENCIAS DE LA CONDUCTA (12, 13), RELACIONES INTERNACIONALES (14,15), TRANSPORTE (16), LEYES, ESTUDIOS URBANOS, ETC.

EN LA FIG 1 PUEDE UBICARSE FACILMENTE EL PAPEL QUE DESEMPEÑA LA SIMULACION, DENTRO DE LAS SECCIONES GRANDES ETAPAS QUE INTEGRAN EL ESTUDIO DE UN SISTEMA. EN DICHA FIGURA PUEDE APRECIARSE TAMBIEN LA NATURALEZA CICLICA E INTERACTIVA, DESDE LA DEFINICION DE OBJETIVOS DEL SISTEMA, HASTA SU IMPLEMENTACION Y CONTROL, ENFASIS QUE NACE EVIDENTEMENTE DE UNA PERSPECTIVA SISTE-

MICA Y POR LO MISMO, NO ES UNA SECUENCIA SISTEMÁTICA DE ETAPAS EN LÍNEA O "DE UN SOLO GOLPE"

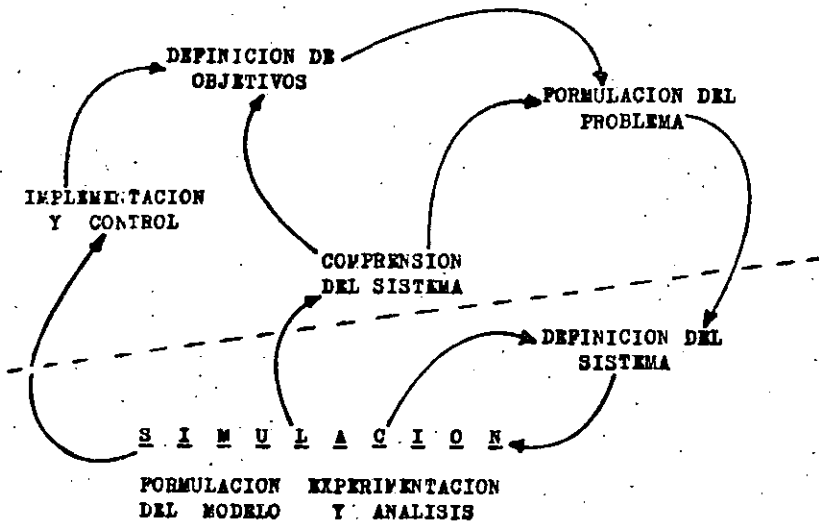


Fig. 1 ESTUDIO DE UN SISTEMA

ALGUNOS CONCEPTOS BÁSICOS

UNO DE LOS INSTRUMENTOS MÁS ÚTILES PARA EL ANÁLISIS, DISEÑO Y OPERACIÓN DE PROCESOS COMPLEJOS O SISTEMAS, ES LA SIMULACIÓN, GENERALMENTE DEFINIDA COMO: "FINGIR, PRAUDE O ALTERACIÓN DE LA CAUSA, FINGIMIENTO O IMITACIÓN..." Y SIMULAR: "...REPRESENTAR UNA COSA IMITÁNDOLA O FINGIENDO LO QUE NO ES..."

EN FORMA SUBSTANCIAL: CADA MODELO O REPRESENTACIÓN DE UN OBJETO ES...UNA FORMA DE SIMULACIÓN.

LA SIMULACIÓN SE HA CONSIDERADO GENERALMENTE EN FORMA MUY AMPLIA Y POCO CONCISA, LO CUAL NO VA ACORDE CON SU IMPORTANCIA DENTRO DEL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS. CON LO EXPUESTO EN PÁGINAS ANTERIORES FACILMENTE SE PUEDE AFIRMAR QUE LA SIMULACIÓN ES:

UN PROCESO DE: { - DISEÑO DE MODELOS DE SISTEMAS
Y
- CONDUCCIÓN DE EXPERIMENTOS Y ANÁLISIS DE SUS RESULTADOS

PUDIÉNDOSE CITAR COMO ALGUNOS DE SUS PROPOSITOS:

- EVALUACION: DETERMINAR CONTRA UN CRITERIO ESPECÍFICO, EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO
- COMPARACION: COMPARAR SISTEMAS MUTUAMENTE COMPETITIVOS, DISEÑADOS PARA UNA FUNCIÓN ESPECÍFICA, O BIEN COMPARAR POLÍTICAS O PROCEDIMIENTOS PROPUESTOS
- PREDICCIÓN: ESTIMAR EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA BAJO UN CONJUNTO DE CONDICIONES DE PROYECTO
- SENSITIVIDAD: DETERMINAR CUAL(ES) DE TODOS LOS FACTORES SON LOS MÁS SIGNIFICATIVOS EN EL COMPORTAMIENTO GLOBAL DEL SISTEMA -ANÁLISIS MARGINAL.
- OPTIMIZACIÓN: DETERMINAR CUAL COMBINACIÓN DE NIVELES PRODUCIRÁ LA MEJOR RESPUESTA GLOBAL DEL SISTEMA. MANEJARA OPTIMA DADO UN CIERTO CRITERIO DE COMPORTAMIENTO.
- RELACIONES FUNCIONALES: ESTABLECER LA NATURALEZA DE LAS INTERRELACIONES ENTRE UNO O MÁS FACTORES SIGNIFICANTES DEL SISTEMA.

SIENDO UN MODELO LA REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA, OBJETO O IDEA EN ALGUNA FORMA QUE NO SEA EL MISMO ENTE, FORRESTER (17) RECONOCE QUE ES POSIBLE CLASIFICAR DE MUCHAS FORMAS LOS MODELOS PERO BAJO EL ENFOQUE DINÁMICO DE SISTEMAS, EL APORTA UNA ÚTIL SUBDIVISIÓN COMO SE ILUSTRAN EN LA FIG. 2:

NOSOTROS ENCONTRAREMOS SIEMPRE QUE CUALQUIER MODELO ASI, CON -
SISTE DE ALGUNA COMBINACION DE LOS SIGUIENTES "INGREDIENTES":

- Componentes. PARTES CONSTITUYENTES DEL SISTEMA, TAMBIEN DENOMINADOS COMO ELEMENTOS O SUBSISTEMAS.

- Parámetros. CANTIDADES CONSTANTES, QUE NO VARIAN Y QUE GENERAN UNA FAMILIA DE SISTEMAS.

- Variables. EXOGENAS O ENDOGENAS. LAS PRIMERAS SE GENERAN FUERA DEL SISTEMA Y APECTAN A ESTA PERO NO HAY "RECIPROCIDAD", EN ESTADISTICA SE CONOCEN COMO INDEPENDIENTES. LAS SEGUNDAS, OBTENIENDO SE ENCUENTRAN DENTRO DEL SISTEMA, CONOCIDAS TAMBIEN COMO VARIABLES DE ESTADO, DE NIVEL O DEPENDIENTES

- Interrelaciones Funcionales. DESCRIBE A LAS VARIABLES Y PARAMETROS EN SU COMPORTAMIENTO DENTRO DE UNA COMPONENTE, O ENTRE COMPONENTES DE UN SISTEMA. ESTAS INTERRELACIONES O CARACTERISTICAS OPERACIONALES PUEDEN SER DE NATURALEZA DETERMINISTICA O ESTOCASTICAS.

- Restricciones. SON LIMITACIONES IMPUESTAS A LOS VALORES DE LAS VARIABLES O LA FORMA EN QUE LOS RECURSOS PUEDEN SER DISTRIBUIDOS O EROGADOS.

- Función Objetivo. ES UNA DECLARACION EXPLICITA DE LOS OBJETIVOS DEL SISTEMA. USUALMENTE ES UNA PARTE INTEGRAL DEL MODELO Y SU MANIPULACION SE ABOCA A OPTIMIZAR O SATISFACER EL CRITERIO ESTABLECIDO.

ELMAGHERBY (18) DISTINGUE AL MENOS CINCO USOS COMUNES Y JUSTIFICADOS:

1. APOYO AL RACIOCINIO
2. FACILITA LA COMUNICACION
3. COADYUVA AL CONOCIMIENTO
4. HERRAMIENTA UTIL PARA ESTIMAR EVENTOS FUTUROS
5. APOYO PARA LA EXPERIMENTACION

EL PROCESO POR EL CUAL SE CONCRETA UN MODELO DEL SISTEMA BAJO ESTUDIO, POR SU GRAN DOSIS DE INTUITIVIDAD SE HA DENOMINADO - "EL ARTE DEL MODELADO"... CUALQUIER CONJUNTO DE REGLAS ES LIMITANTE PER SE, Y DEBERAN ADOPTARSE COMO LINEAMIENTOS QUE SUGIEREN..., NORMAN..., INDICAN..., HAY UNA GRAN DIFERENCIA ENTRE APRENDER MODELOS Y APRENDER A MODELAR.

LA EXPERIENCIA INDICA QUE LA SUCESIVA RESTRUCTURACION DE UN MODELO ES LA BASE DE SU ELABORACION Y ENRIQUECIMIENTO..... SE EMPIEZA CON UN MODELO MUCHO MUY SIMPLE Y SE EVOLUCIONA HACIA UNO MAS ELABORADO, MAS EXTENSO Y PROFUNDO QUE REFLEJE UNA FENOMENOLOGIA ALTAMENTE COMPLEJA LO MAS CLARO POSIBLE..... ESTABLECER EN LO POSIBLE, ANALOGIAS O ASOCIACIONES CON ESTRUCTURAS PREVIAMENTE ELABORADAS, DISCUTIDAS Y COMPROBADAS.... EL PROCESO DE ELABORACION Y ENRIQUECIMIENTO INVOLUCRA UNA CONSTANTE INTERACCION Y RETROALIMENTACION ENTRE EL MUNDO REAL Y EL MODELO QUE SE ESTA FORJANDO.

"EL ARTE DEL MODELADO" CONSISTE EN LA HABILIDAD DE ANALIZAR UN PROBLEMA, ABSTRAER SUS ASPECTOS ESENCIALES, SELECCIONAR Y MODIFICAR LAS HIPOTESIS BASICAS QUE CARACTERIZAN EL SISTEMA Y ENTONCES CONFRONTARLO HASTA APROXIMARSE A RESULTADOS UTILES.

MORRIS (19) SUGIERE LOS SIGUIENTES LINEAMIENTOS:

- DESCOMPOGA EL SISTEMA PROBLEMA EN VARIOS PROBLEMAS SIMPLES
- ESTABLEZCA UN ENUNCIADO CLARO DE LOS OBJETIVOS
- BUSQUE ANALOGIAS
- ADJUDIQUE NOTACIONES O SIMBOLOGIA PROPIA
- NO OLVIDE ESCRIBIR AL MARGEN LO OBVIO
- SI HA LOGRADO UN MODELO MANIPULABLE, ENRIQUEZCALO; CASO CONTRARIO SIMPLIFIQUELO

7. DETERMINE QUE OBJECIONES SON PROBABLES DE CONCRETARSE POR A QUELLOS PARTICIPANTES QUE SE OPONGAN A CAMBIOS EN EL SISTEMA.

EN CUANTO A LA OBTENCION DE DATOS, SEGUNDA FASE:

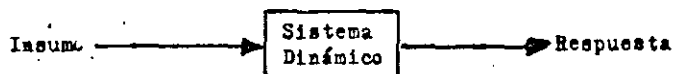
1. ESPECIFIQUE CLARA Y CONCISA, LAS TAREAS QUE DEBEN REALIZARSE PARA EL SISTEMA O SUBSISTEMA (RUTA CRITICA)
2. DETERMINE LAS RESTRICCIONES DEL CASO: PERSONAL, FECHA DE ENTREGA, RECURSOS MONETARIOS, TIEMPO EN COMPUTADORA, ETC.
3. ESTABLEZCA UN "CUARTEL GENERAL" DE COORDINACION, ADMINISTRACION, INFORMACION, ETC.
4. OBTENGA CARTA BLANCA PARA OBTENER TODO TIPO DE INFORMACION.
5. ASEGURE LA PARTICIPACION DEL PERSONAL NECESARIO
6. DESARROLLE CRITERIOS PARA EVALUAR RESULTADOS
7. DEPINA LOS LIMITES DE PARTICIPACION DEL PERSONAL Y DECISORES

LO ANTERIOR ES CRUCIAL, CONSIDERE SEGUN EL CASO, MANUALES, INSTRUMENTOS, REPORTES, FORMAS DE CAPTACION DE INFORMACION, ENTRE VISTAS, DIAGRAMAS DE PROCESOS, DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESAMIENTO DE INFORMACION, ETC.

TODO LO ANTERIOR SE DIRIGE A DEFINIR EL MODELO, POR LO TANTO: YA ESPECIFICADO EL PROPOSITO O PROPOSITOS DEL MODELO:

- A. ESPECIFIQUE LOS COMPONENTES QUE DEBEN INCLUIRSE
- B. ESPECIFIQUE LOS PARAMETROS Y VARIABLES ASOCIADOS CON CADA COMPONENTE
- C. ESPECIFIQUE LAS INTERRELACIONES FUNCIONALES ENTRE COMPONENTES, PARAMETROS Y VARIABLES

PARA LO ANTERIOR, CONSIDEREMOS QUE PUEDEN PRESENTARSE VARIOS TIPOS DE PROBLEMAS, LOS CUALES PODEMOS CONCEPTUALIZARLOS DE LA MANERA SIGUIENTE:



DE LO ANTERIOR DEBEMOS CONTAR O ASUMIR DOS DE LOS TRES ENTES, SI CONOCEMOS LA ECUACION QUE DESCRIBE EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DINAMICO, LOS PROBLEMAS SERIAN: ENCONTRAR LA RESPUESTA DEL SISTEMA BAJO UN INSUMO(S) CONOCIDO(S), O BIEN EL DE ENCONTRAR QUE INSUMO(S) PRODUCE(N) TAL RESPUESTA, (PROBLEMAS DE CONTROL). MAS DIFICIL ES CUANDO SE TIENEN LAS ENTRADAS Y SALIDAS Y SE TIENE QUE INFERIR O ENCONTRAR LA DESCRIPCION MATEMATICA DEL SISTEMA. (CAJA NEGRA)

EN GENERAL, HAY TRES TIPOS DE SISTEMAS COMPONENTES QUE CONVIERTEN INSUMOS EN PRODUCTOS, Y QUE SE ILUSTRAN EN LA FIG. 4, SIENDO EL PROCESO DE CONVERSION DETERMINISTICO O ESTOCASTICO

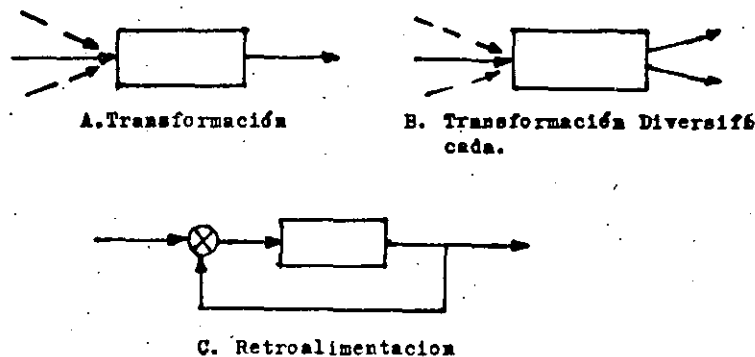


Fig. 4. SISTEMAS COMPONENTES BASICOS

EN LO QUE RESPECTA A LAS ESPECIFICACIONES FINALES ANTERIORMENTE ENUNCIADAS, BREVEMENTE SE INDICAN LAS TECNICAS ESTADISTICAS DEL DOMINIO TECNICO NORMAL Y OTRAS METODOLOGIAS QUE PUEDEN SER UTILES PARA DETERMINAR LAS RELACIONES ENTRE COMPONENTES, VARIABLES Y PARAMETROS.

SIMULACION/LENGUAJES

AL FINALIZAR LOS '40 VON NEUMANN Y ULAN ACUÑARON EL TERMINO DE "MONTE CARLO" Y CUYA TECNICA, APLICADA EN ASPECTOS COLATERALES CON EL PROBLEMA NUCLEAR EN "LOS ALAMOS", POSTERIORMENTE GANO BASTANTE POPULARIDAD EN DIFERENTES CAMPOS, SIENDO SU NOMBRE SINONIMO DE SIMULACION PARA MUCHAS GENTES.

EL METODO DE MONTE CARLO ES BASICO PARA EL CONCEPTO DE SIMULACION EN SISTEMAS QUE CONTIENEN ELEMENTOS ESTOCASTICOS O PROBABILISTICOS. LA TECNICA ES DESARROLLADA COMO EXPERIENCIA ARTIFICIAL GENERANDO NUMEROS ALEATORIOS Y USANDO LA FUNCION DE DISTRIBUCION ACUMULADA DE INTERES. LA GENERACION DE NUMEROS ALEATORIOS PUEDE REALIZARSE EN FORMA MANUAL, TABLAS, CON UNA SUBROUTINA POR COMPUTADORA (21) O POR OTRO MEDIO QUE NOS ARROJE DIGITOS ALEATORIOS, UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDOS. LA FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD PUEDE DERIVARSE DE DATOS HISTORICOS, EXPERIMENTOS RECIENTES O POR UNA DISTRIBUCION TEORICA CONOCIDA LOS NUMEROS ALEATORIOS SON USADOS PARA PRODUCIR UNA CORRIENTE ALEATORIZADA QUE "DUPLICARA" UNA EXPERIENCIA QUE PUDO HABER SIDO PRODUCIDA POR UNA FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD MUESTREADA.

LA PRUEBA DE DISCREPANCIA ENTRE UNA FRECUENCIA OBSERVADA Y LA ESPERADA PROPUESTA POR KARL PEARSON EN 1903 Y DESARROLLADA POR SIR RONALD FISHER EN TABLAS PUBLICADAS EN 1924 ES LA χ^2 (CHI CUADRADA) Y USADAS HOY EN DIA. OTRA PRUEBA ES LA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PUBLICADA INICIALMENTE EN 1948

¿COMO "ATACAR EL PROBLEMA" CUANDO ADEMAS DE EXISTIR ELEMENTOS ESTOCASTICOS, EXISTE RETROALIMENTACION? AHORA BIEN, LOS SISTEMAS REALES SON MAS CONTINUOS DE LO QUE COMUNMENTE SE SUPONE LA CONCEPTUALIZACION POR FLUJOS CONTINUOS ES UNA PRIMERA APROXIMACION EFECTIVA, INCLUSO DONDE SE DAN DECISIONES Y ACONTECIMIENTOS

REPETITIVOS PERO DISCRETOS, A PARTIR DEL CUAL SE PUEDE AGREGAR DESPUES LA REALIDAD DE LAS ACCIONES SEPARADAS EN LAS CUALES ES NECESARIA DICHA REPRESENTACION. SE PROCEDERIA ASI ANTES DE ESTABLECER LAS CARACTERISTICAS ESTOCASTICAS (EN QUE CADA DECISION SE GENERA SOBRE UNA BASE ALEATORIA DE ALGUNA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONTROLADA). EL "RUIDO" (PERTURBACIONES ALEATORIAS) PUEDE AÑADIRSE DESPUES A LAS FUNCIONES DE DECISION. TAL ES EL ENFOQUE A LA DINAMICA DE SISTEMAS DE PARRER (11) POR MEDIO DEL LENGUAJE DE SIMULACION "DYNAMO", (DYNAmic MOdele).

SIN OLVIDAR LAS ESPECIFICACIONES A CUMPLIR PARA LA DEFINICION DEL MODELO, CONCRETAMENTE, LAS INTERRELACIONES ENTRE VARIABLES LA ESTADISTICA NOS PROPORCIONA LOS ANALISIS DE REGRESION, CORRELACION, NO LINEALIDAD Y/O REGRESION MULTIPLE (22), Y QUE SON DEL DOMINIO COMUN TECNICO.

PARAMETROS ¿CUANDO NO SE PUEDE DETERMINAR EL VALOR DE LOS PARAMETROS EMPIRICAMENTE? ¿NO SE CUENTA CON REGISTROS HISTORICOS O FORMA DE EXPERIMENTAR?...PODEMOS RECURRIR A UN GRUPO DE EXPERTOS A FIN DE OBTENER UNA EVALUACION SUBJETIVA. UNA TECNICA MUY UTIL AL RESPECTO ES EL METODO DE DELPHI (O DELPHI), DESARROLLADO EN LA RAND CORP., (23) DEBIDO A OLAF FELMER Y NORMAN DALKEY. ES UN PROCEDIMIENTO ITERATIVO QUE SUJETA EL PUNTO DE VISTA DE CADA PARTICIPANTE A LA CRITICA DE LOS DEMAS, PERO SIN CONFRONTACION DIRECTA CARA A CARA. LA IDEA ES MANIPULAR UN MECANISMO QUE PRESERVA EL ANONIMATO DE LOS PARTICIPANTES, SU PERSONALIDAD O FUERZA POLITICA. LA INTERACCION ES DIRIGIDA POR UN GRUPO O UN SOLO COORDINADOR, QUIEN(ES) COORDINA(N) LAS DELIBERACIONES Y PRESERVA(N) EL ANONIMATO. LAS RESPUESTAS SON COMPUTADAS Y REGRESADAS A LOS PARTICIPANTES EN FORMA DE RESPUESTAS ESTADISTICAS. EN TRES O CUATRO ITERACIONES (ROUNDS) LOS EXPERTOS LOGRAN PONERSE DE ACUERDO.

CONCLUYENDO:

1. DEFINA EL PROBLEMA REAL
2. ESTABLEZCA LOS OBJETIVOS DEL ESTUDIO
3. DEFINA LAS PRONTERAS DEL SISTEMA
4. DETERMINE LAS COMPONENTES Y VARIABLES RELEVANTES
5. ESTABLEZCA HIPOTESIS Y ABSTRAIGA LAS RELACIONES ENTRE COMPONENTES Y VARIABLES
6. ESTIME LOS VALORES DE LOS PARAMETROS INVOLUCRADOS

EN LO QUE RESPECTA AL LENGUAJE DE SIMULACION, PARTAMOS DE LAS MAQUINAS COMPUTADORAS. DESPUES DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL, - EL ADVENIMIENTO DE ESTE TIPO DE EQUIPOS PERMITIO TRATAR SISTEMAS COMPLEJOS (RECUERDESE A LOS PIONEROS EN ECONOMIA: COURNOT, MARSHALL, EDGEWORTH, WALRAS, LOS TRABAJOS EN ESTADISTICA ALLA POR LOS '20, '30, '40 DE FISHER, NEYMAN, PEARSON, WALD, JEPPEYS y OTROS. TINBERGEN CON SU MODELO MATEMATICO PARA EL ANALISIS ECONOMICO: 1937, 39; UN MODELO DINAMICO MULTIECUACIONAL, CON 50 ECUACIONES DE DIFERENCIA LINEALES ESTOCASTICOS). LAS COMPUTADORAS DE TIPO ANALOGICO SE DESARROLLARON ENTRE 1930 y 1950 Y FUERON USADAS EN LOS ANALIZADORES DE REDES ELECTRICAS Y EN ANALIZADORES DE ECUACIONES DIFERENCIALES. EN UN PRINCIPIO SE INTENTO EL USO DE APARATOS DE COMPUTACION ANALOGICOS PARA EL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS ECONOMICOS PERO RESULTARON INADECUADOS FRENTE A LOS PROBLEMAS DE INTERES PRACTICO. EL ADVENIMIENTO DE LA COMPUTADORA DIGITAL ELECTRONICA, CUYO USO SE GENERALIZO ENTRE 1955-60 PERMITIO EFECTUAR LA GRAN CANTIDAD DE TRABAJO QUE SE NECESITA PARA OBTENER SOLUCIONES ESPECIFICAS A LAS CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS SIN QUE SEA ECONOMICAMENTE PROHIBITIVO.

SE HABLA DE COMPUTADORAS DE LA CUARTA GENERACION, PERO ASENTAMOS ALGUNOS ASPECTOS BASICOS: COMPUTADORAS ANALOGICAS, DIGITALES E HIBRIDAS. LAS VENTAJAS RELATIVAS DESCANSAN EN SUS CARAC

TERISTICAS BASICAS: LAS ANALOGICAS REPRESENTAN LAS VARIABLES DE UN PROBLEMA EN FORMA DE CANTIDADES FISICAS LAS CUALES SON MANIPULADAS COMO VOLTAJES ELECTRICOS LLEGANDO A LA SOLUCION CON OPERACIONES SIMULTANEAS (O EN PARALELO), MIENTRAS QUE LA DIGITAL OPERA EN FORMA SECUENCIAL. POR OTRO LADO, LAS DIGITALES SON DE MAYOR PRECISION Y CAMPO DE ACCION DINAMICO, DEBIDO A SU HABILIDAD DE CALCULAR, OBEDECER REGLAS LOGICAS, PUNTO FLOTANTE ETC., EN LAS ANALOGICAS SU PRECISION SE ENCUENTRA LIMITADA EN FUNCION DE LA CALIDAD DE LOS CIRCUITOS COMPONENTES MIENTRAS QUE EN LA DIGITAL EL LIMITE ES LA CAPACIDAD DE MEMORIA.

DESGRACIADAMENTE EN NUESTRO PAIS, EL PROGRESO DE LAS MAQUINAS SE MANTIENE CADA VEZ MUY POR DELANTE DEL PROGRESO CONCEPTUAL DE LA DINAMICA DE SISTEMAS.

LA FIG. 5 PRESENTA UNA CLASIFICACION DE LOS LENGUAJES DE SIMULACION MAS UTILIZADOS (24). MUCHOS DE ESTOS LENGUAJES TIENEN VARIAS VERSIONES Y DIALECTOS, POR LO QUE SOLO SE PRESENTA EL NOMBRE GENERICO DE LA FAMILIA. RESALTAN COMO VENTAJAS DE LOS LENGUAJES ORIENTADOS SOBRE LOS DE PROPOSITO GENERAL EL QUE SE REQUIERE MENOS TIEMPO EN ELABORAR EL PROGRAMA, SE TIENE ALTA MENTE SISTEMATIZADO LA DETECCION DE ERRORES, CON SUBROUTINAS YA ELABORADAS, AUTOMATICAMENTE GENERAL DATOS ESPECIFICOS NECESARIOS EN LAS CORRIDAS SUCESIVAS, MEJORES FACILIDADES PARA CAPTAR INFORMACION Y VISUALIZACION DE RESULTADOS, ETC.

EJEMPLO: SISTEMA DINAMICO (DYNALO)

LOS PROBLEMAS QUE VERDADERAMENTE SON UN RETO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS, TIENEN AL MENOS DOS COSAS EN COMUN: PRIMERO Y OBIVIAMENTE, SON DINAMICOS, INVOLUCRAN CANTIDADES FLUCTUANTES Y QUE PUEDEN EXPRESARSE EN FORMA DE GRAFICAS, CON SUS VARIACIONES A TRAVES DEL TIEMPO: NIVELES OSCILANTES DE EMPLEO, DECLINACION DE LA CALIDAD DE LA VIDA CIUDADANA, DEPRESIONES SICOLOGICAS, TRANSPORTE, CONSUMO DE AGUA, ETC., SEGUNDO EL CONCEPTO DE RETROALIMENTACION, QUE EXISTE CUANDO EL MEDIO

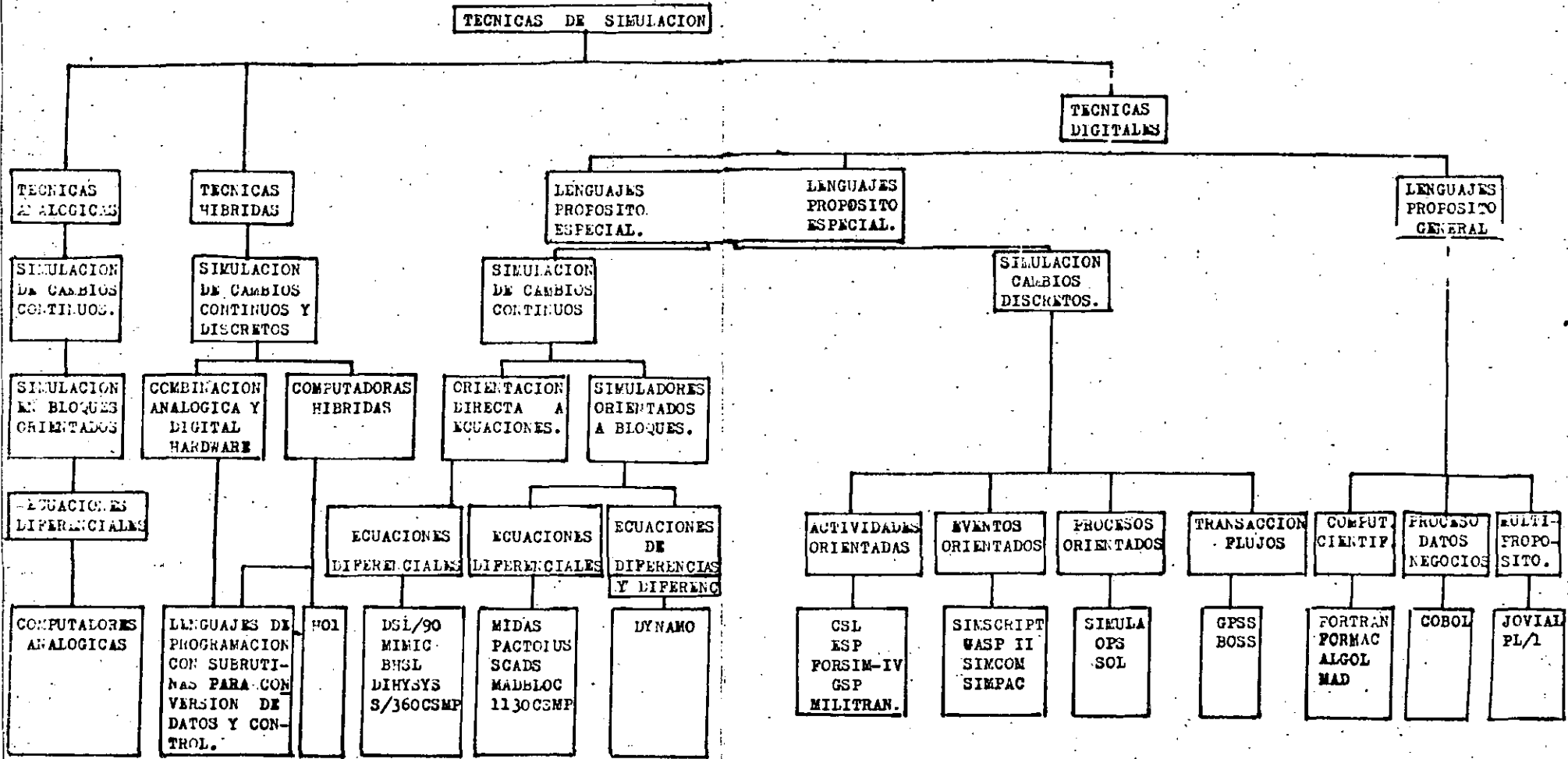


FIG.5 CLASIFICACION DE LENGUAJES

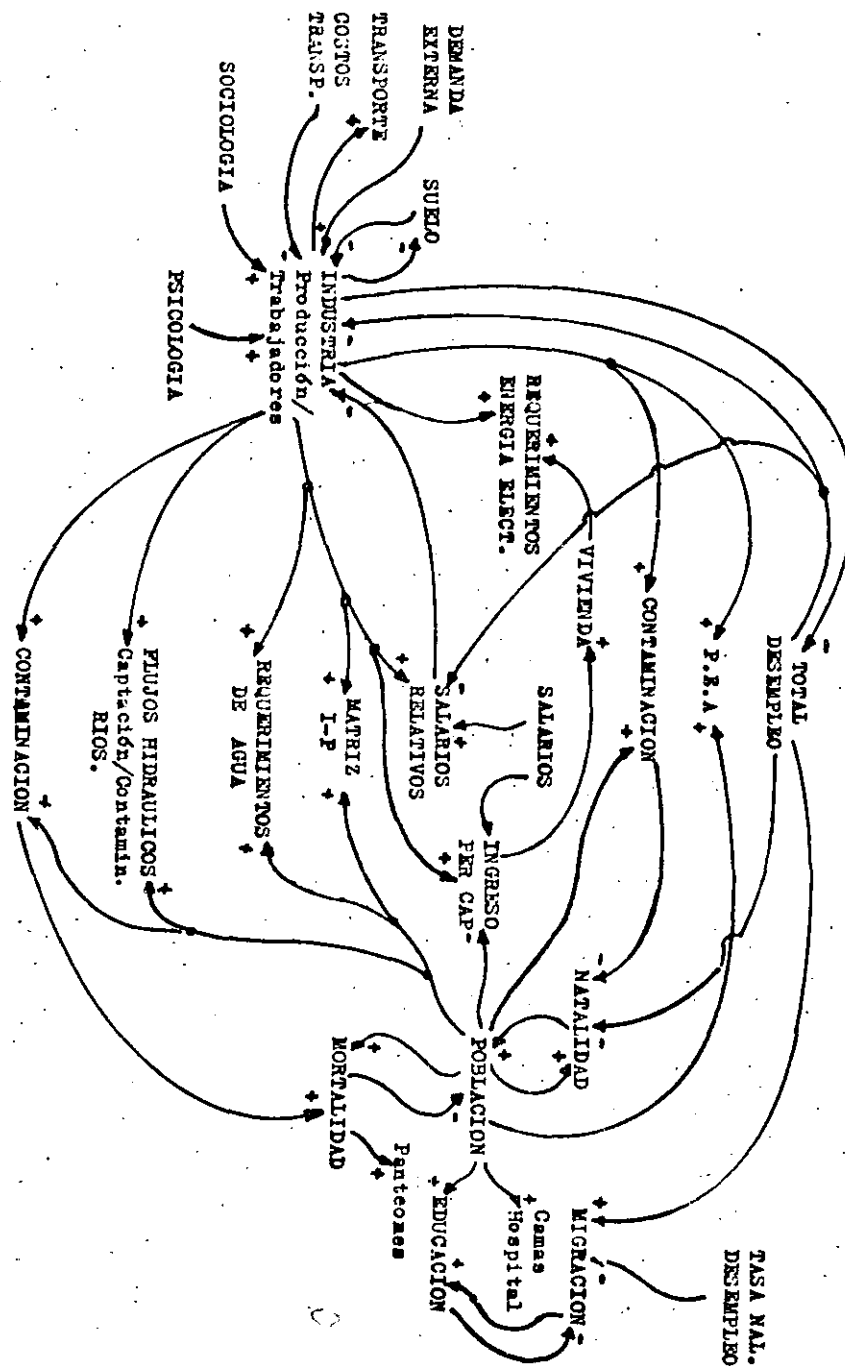
6

CONDUCE A UN ACTO DECISIVO CUYO RESULTADO ES UNA ACCION QUE INFLUYE EN EL MEDIO Y POR LO TANTO EN LAS DECISIONES FUTURAS... (17). ESTA DEFINICION ABARCA TODAS LAS DECISIONES CONSCIENTES E INCONSCIENTES TOMADAS POR UN INDIVIDUO, INCLUYE TAMBIEN LAS DECISIONES MECANICAS ASOPTADAS POR APARATOS LLAMADOS SERVOMECA NISMOS Y DEBIDO A ELLOS APARECIO DICHA DEFINICION; LOS FISIOL O GOS UTILIZAN LA PALABRA HOMEOSTASIS.

TODO CUANTO HACEMOS COMO INDIVIDUOS, COMO ORGANIZACION, INDUS TRIA O SOCIEDAD SE LLEVA A CABO DENTRO DEL CONTEXTO DE UN SIS- TEMA DE RETROALIMENTACION INFORMATIVA, PERO SU DEFINICION ABAR CA TANTO QUE , EN PRINCIPIO PARECIERA CARECER DE SIGNIFICACION LOS SISTEMAS DE RETROALIMENTACION SEAN MECANICOS, BIOLÓGICOS O SOCIALES, DEBE SU COMPORTAMIENTO A TRES CARACTERISTICAS: ES - TRUCTURA, DEMORAS Y AMPLIFICACION. LA ESTRUCTURA NOS MUESTRA CO MO ESTAN RELACIONADAS LAS PARTES UNAS CON OTRAS. SIEMPRE HAY - DELORAS PARA DISPONER DE LA INFORMACION; PARA TOMAR DECISIONES FUNDADAS EN ÉSTA Y LA AMPLIFICACION SE MANIFIESTA CUANDO UNA - ACCION ES MAS ENERGICA EN SU EFECTO DE LO QUE SE INFERIRIA EN UN PRINCIPIO A PARTIR DE LA ENTRADA DE INFORMES EN LAS DECI - SIONES, POR EJEMPLO, DEL GOBIERNO.

LO ANTERIOR SE HA ABORDADO CON UN LENGUAJE ORIENTADO PARA MODE LOS DINAMICOS COMO ES EL DYNAMO, EL QUE APOYANDOSE EN DIAGRA - MAS CAUSALES, FIGS 6 y 7 FACILMENTE PUEDE ANALIZARSE LA INTER- ACCION DE LAS PARTES COMPONENTES (SUBSISTEMAS) DE UN MODELO SISTEMICO DE UNA REGION(24). EN LAS FIGS 8 a 12 15 SE ILUSTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNA CORRIDA BASE CON ALGUNAS DE LAS VARIABLES MAS RELEVANTES (13) OBTENIENDOSE RESULTADOS NUME RICOS DE SOLAMENTE 122, DE UN CONJUNTO DE UNAS 1400 ECUACIONES APROXIMADAMENTE. (DE NIVEL, TASA, AUXILIARES, PARAMETROS, INI- CIALES Y FUNCIONES-TABLA), PARA UN HORIZONTE DE 50 AÑOS Y CON COMPUTOS DE DIFERENCIAL DE TIEMPO $\Delta t = 0.125$ de AÑO

FIG 6 DIAGRAMA CAUSAL GENERAL



10

BEGAN PLOTTING AT 10:45.0000, 18 SEPTEMBER 1982

VBP=P, PHI=B, CPBI=C, SBC=X, EMPLE=L, AUSUFI=G, CE=Y, TOLL=D

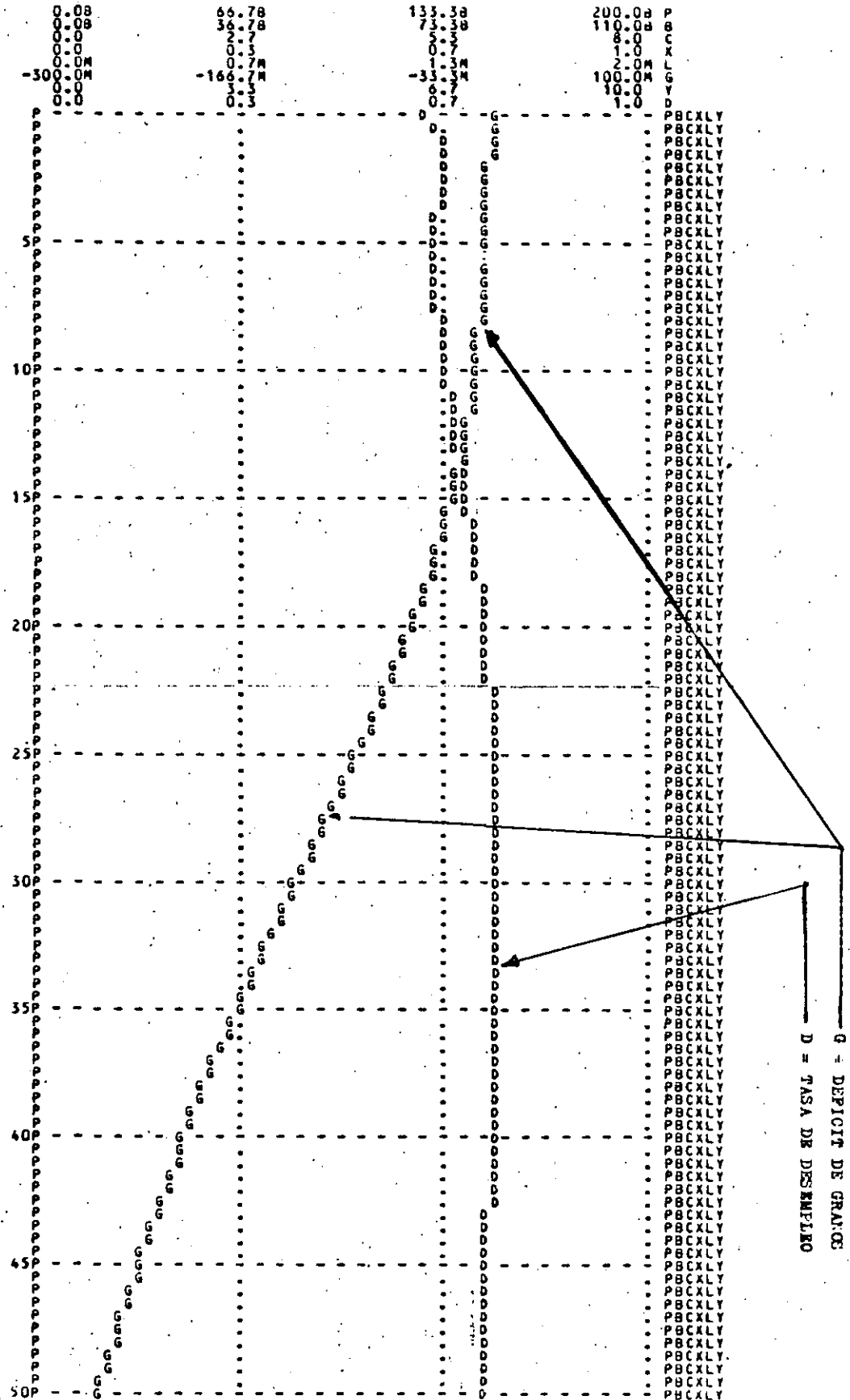
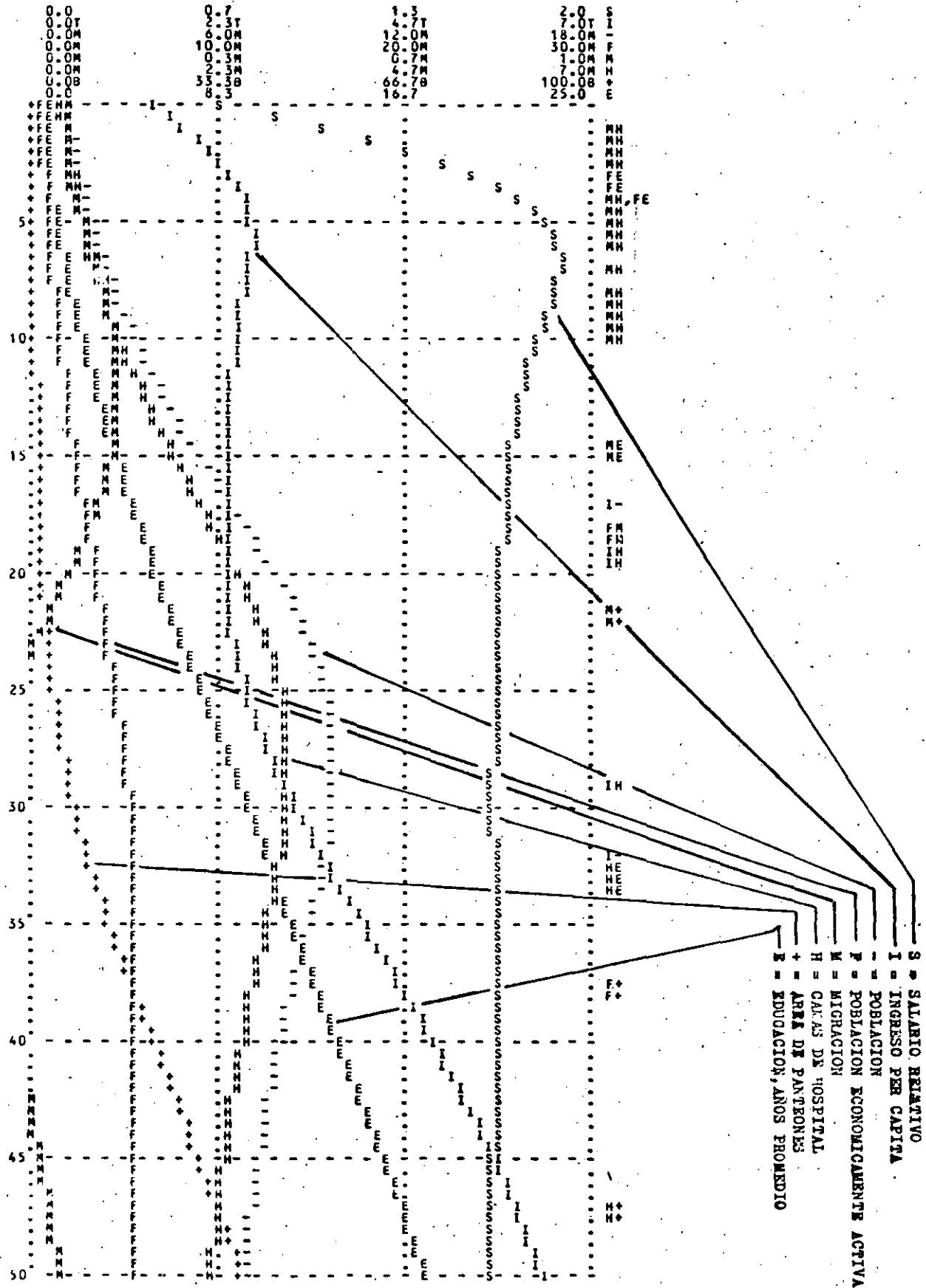


Fig. 8

BEGAN PLOTTING AT 10:45.2372, 18 SEPTEMBER 1982

SR11=S, IPCAY1=I, POBDI=-, POCPL1=F, MGNFD1=M, CHOSPD=H, APANTD=+, PCAPD1=E



BEGAN PLOTTING AT 10:45.2914, 18 SEPTEMBER 1982

13

TPRI11=6, TPRI12=0, TSE11=J, TSD11=1, TBD11=3, TEND11=4, TPL11=5, TPIC11=6

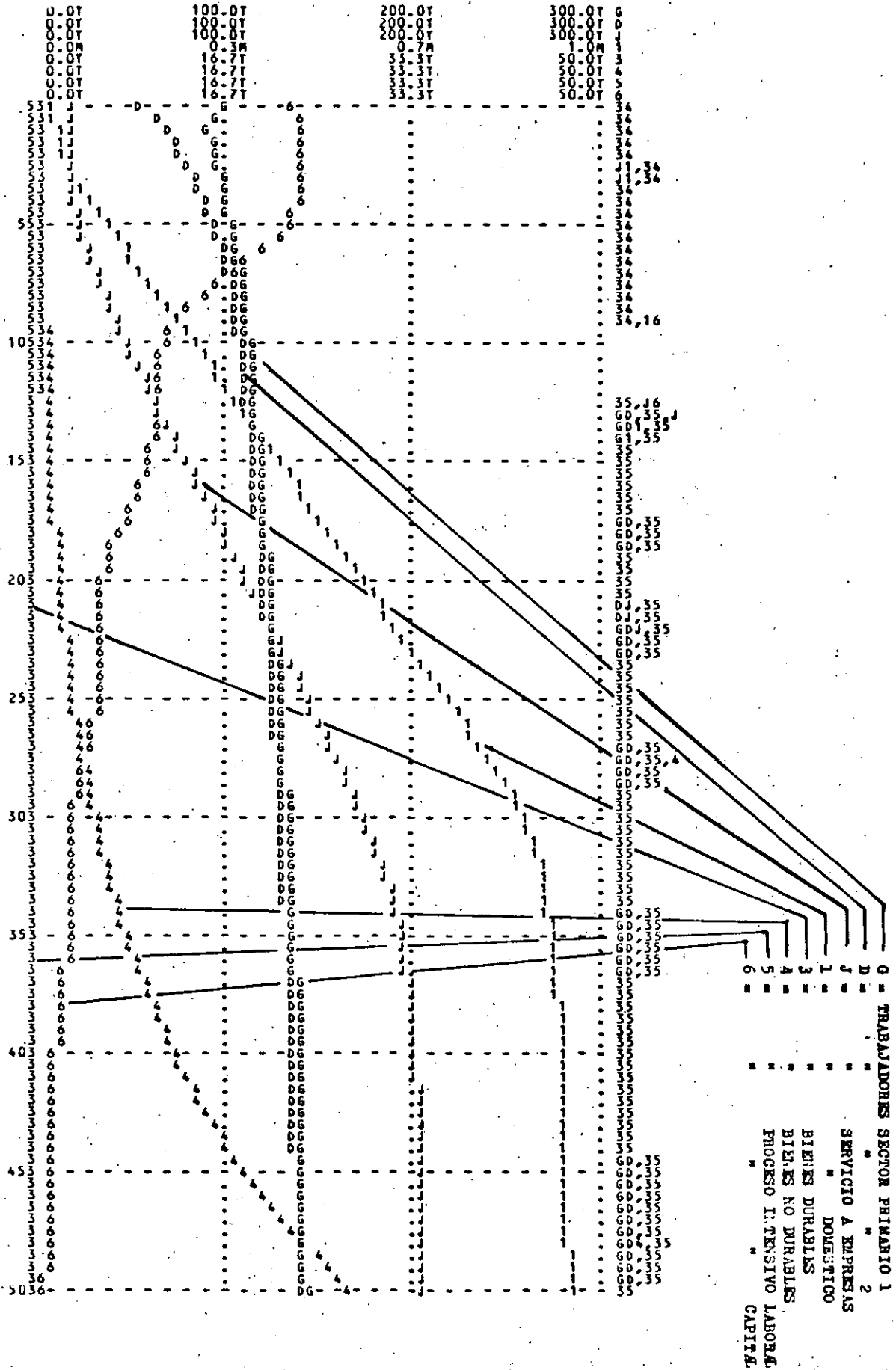
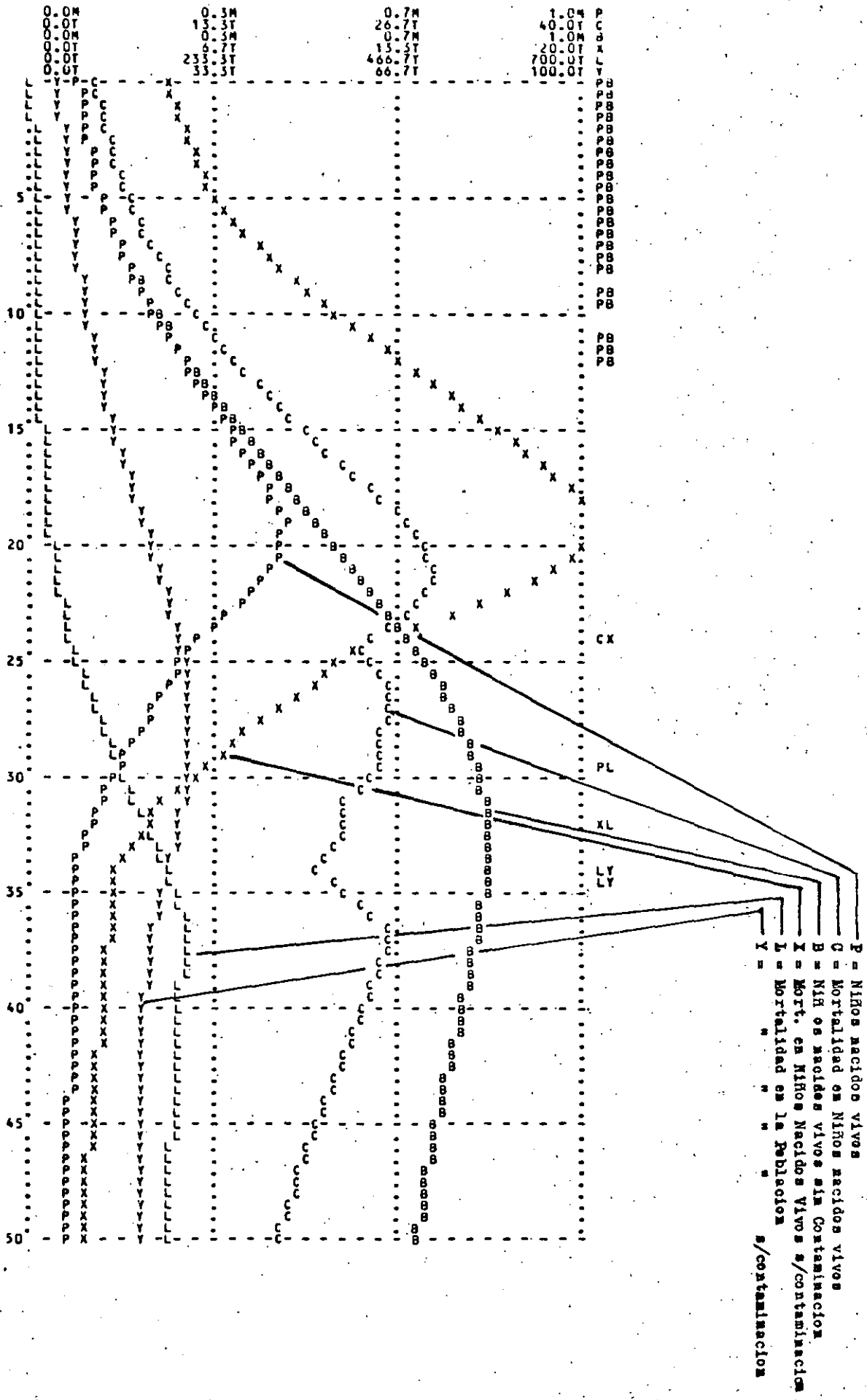


Fig 10

BEGAN PLOTTING AT 10:45.3622, 18 SEPTEMBER 1982

14

MNIVD1=P, MNIVD1=C, MNIVSK=B, MNIVSK=X, MORTD1=L, MORTSK=Y

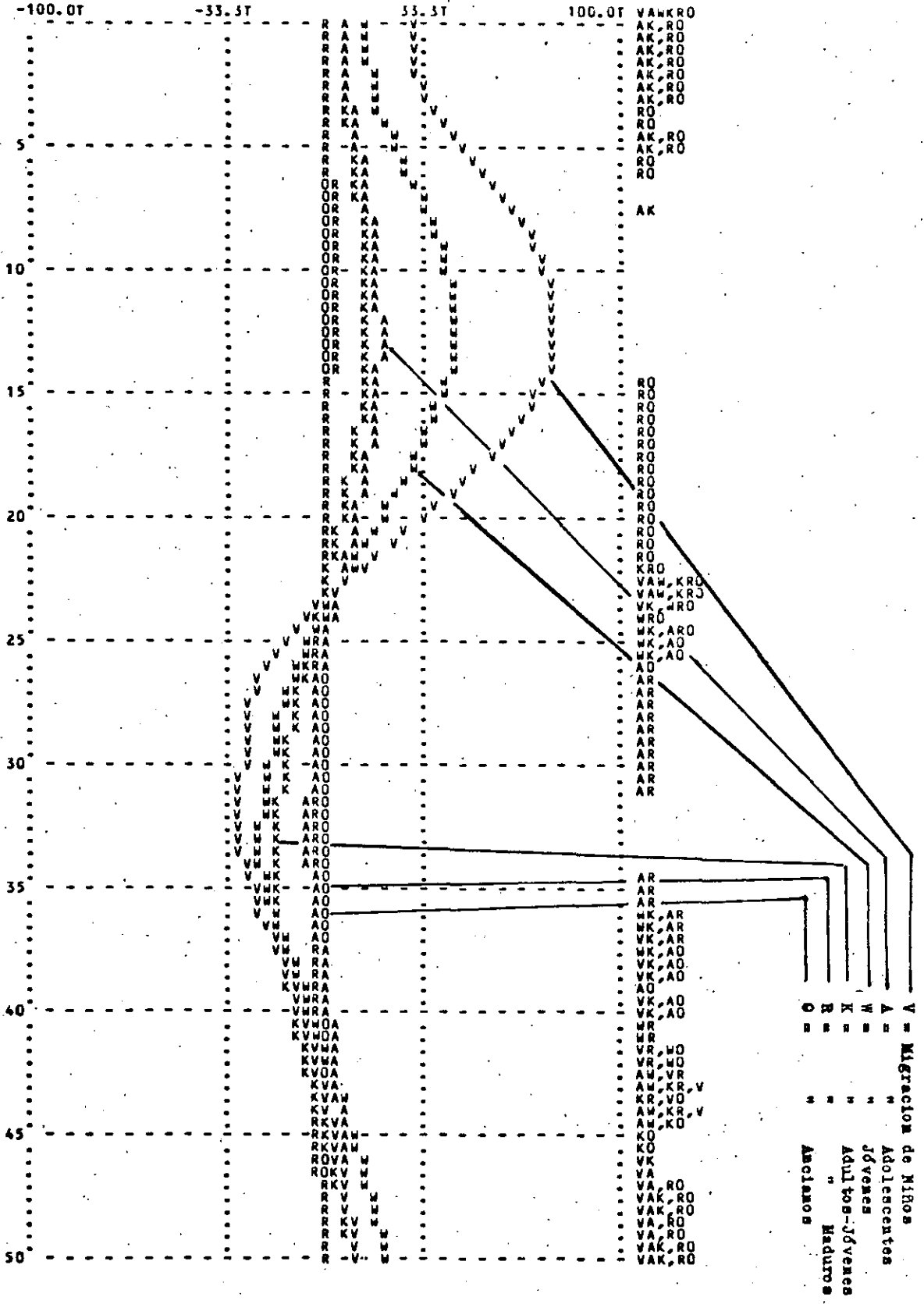


111

Fig 11

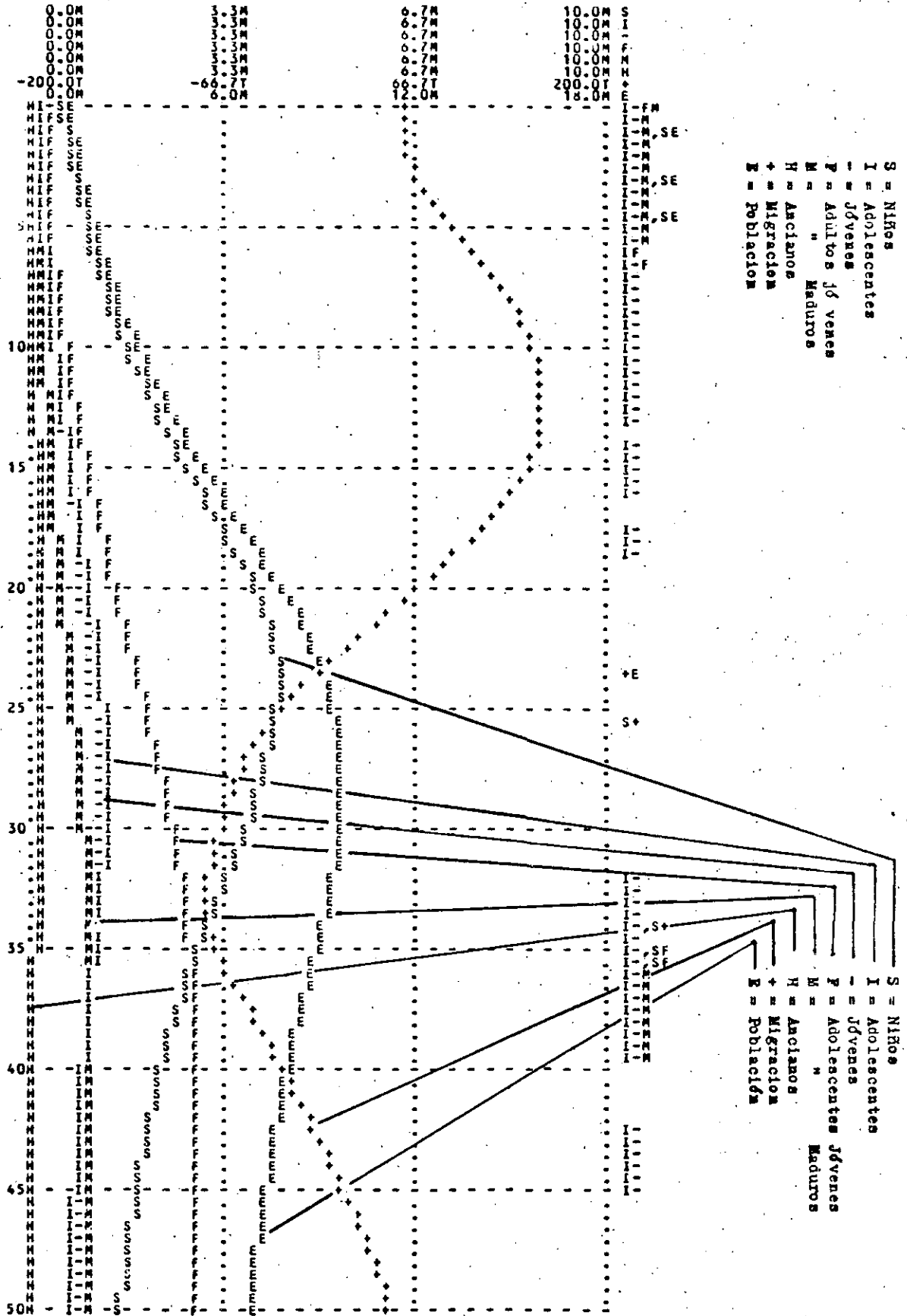
BEGAN PLOTTING AT 10:45.4158, 18 SEPTEMBER 1982

MGNID1=V, MGADD1=A, MGJOD1=M, MGAJD1=R, MGAN01=R, MGAN01=0



BEGAN PLOTTING AT 10:45.4669, 18 SEPTEMBER 1982

NID1=S, ADLD1=I, JOVD1=-, ADJOD1=F, ADMAD1=M, ANCD1=H, NIG=+, P=E



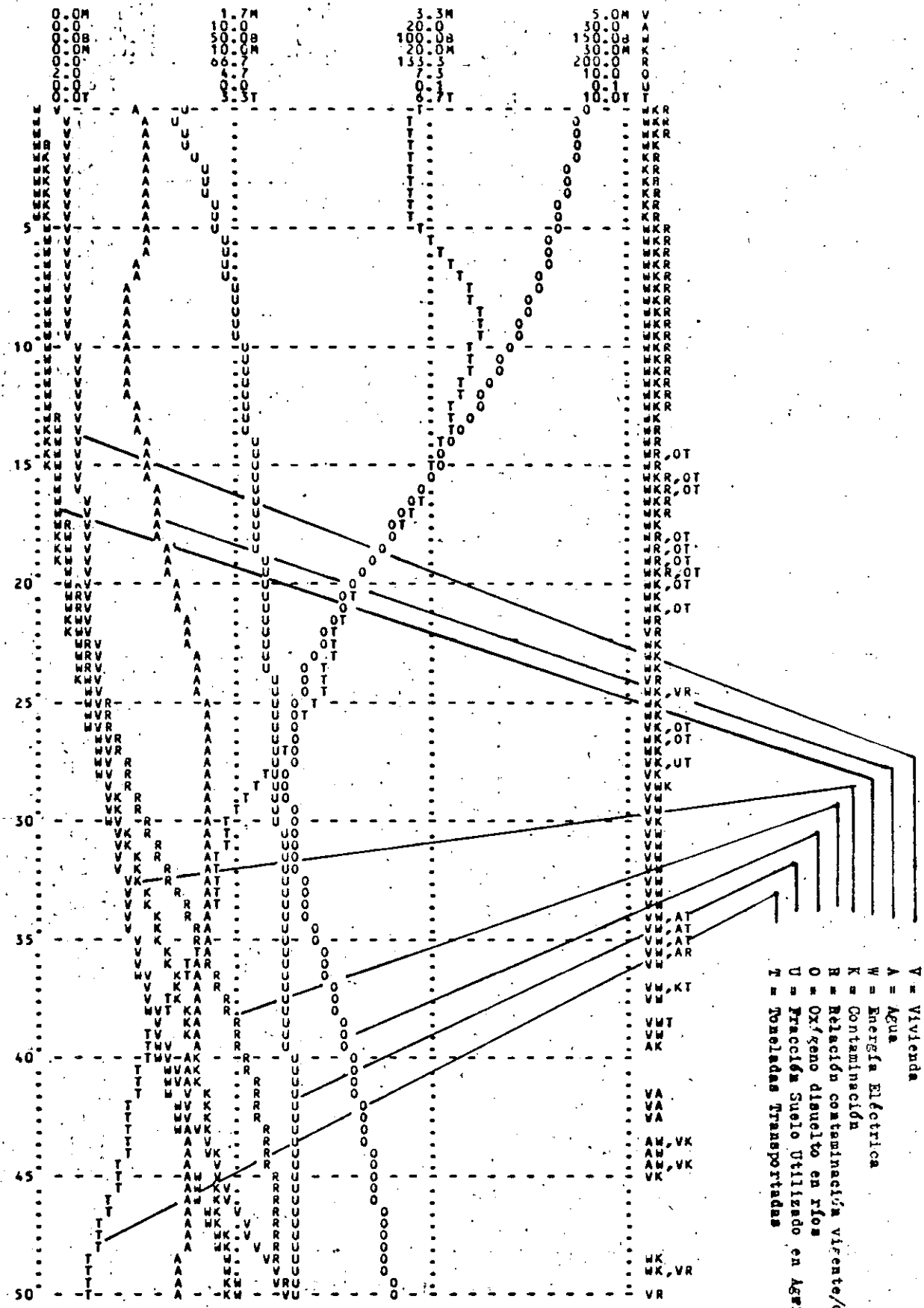
S = Niños
 I = Adolescentes
 F = Jóvenes
 M = Adultos
 H = Maduros
 E = Población

S = Niños
 I = Adolescentes
 F = Jóvenes
 M = Adultos
 H = Maduros
 E = Población

Fig 1

BEGAN PLOTTING AT 10:45.5228, 18 SEPTEMBER 1982

VIV=V, TC1A1=A, CTEW1=W, CONTK1=K, RCOPK1=R, ODTA1=O, FSOAS1=U, VAQ907-T



- V = Vivienda
- A = Agua
- W = Energía Eléctrica
- K = Contaminación
- R = Relación contaminación viviente/original
- O = Oxígeno disuelto en ríos
- U = Fracción Suelo Utilizado en Agricultura
- T = Toneladas Transportadas

Fig. 5

23

22

26

27

Como en todos los análisis para el diseño e implantación de sistemas, los estudios sobre el transporte se desarrollan siguiendo una secuela particular. Luego de definir el problema, fijarse objetivos claros y congruentes y formular medidas de efectividad, el trabajo de análisis continúa con la generación de alternativas. En esta etapa del proceso, los modelos matemáticos significan una herramienta muy valiosa.

La utilización de modelos tiene como objetivo determinar la demanda de transporte en las diferentes zonas de la ciudad y establecer el conjunto de facilidades que habrán de satisfacerla; entendiéndose por facilidades, tanto los medios mismos como la infraestructura vial por la que se desplazan.

La terminación de la demanda se lleva cabo según ciertas etapas bien definidas:

- I.- Cuantificar la generación y la atracción de viajes de todas y cada una de las zonas en que se divide el área de estudio.
- II.- Encontrar la distribución de los movimientos interzonales de los viajes estimados en la primera etapa.
- III.- Fijar las rutas por las cuales se moverán los viajes ya distribuidos.
- IV.- Seleccionar la mejor combinación de recursos con vistas a optimizar los resultados.

En el Plan Rector de Vialidad y Transporte de la Ciudad de México fueron considerados tres tipos de modelos que responden respectivamente a las premisas mencionadas:

- I.- Modelos para predecir la generación de viajes.
- II.- Modelos para predecir la distribución de los viajes.
- III.- Modelos para asignar los viajes en la Red de Transporte.

Su interrelación se muestra en la Fig. 1.

DESCRIPCION GENERAL DE LOS MODELOS

I.- **Modelo de generación de viajes.** Este modelo consiste en una o más expresiones matemáticas que, con apoyo en una zonificación realizada sobre el área metropolitana,

na, ha de predecir el número de viajes que se generarán en cada zona para cada horizonte de proyecto. El modelo calcula el número de viajes que se generan por día y en la hora de máxima demanda, de acuerdo con el crecimiento de la población y del número de vehículos particulares de cada zona. Toma también en cuenta la accesibilidad actual y futura de las diferentes regiones del área urbana, permitiendo así reproducir las políticas y estrategias de planeación consideradas en el Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad.

- II.- **Modelo de distribución de viajes.** Es otra expresión matemática mediante la cual, los viajes diarios u horarios del modelo anterior se pueden distribuir hacia los diferentes rumbos de la ciudad, es decir, calcula los destinos de los viajes generados en cada zona. El resultado de este modelo es una matriz Origen-Destino extendida a todas las subdivisiones del área analizada.
- III.- **Modelo de Asignación de viajes.** El modelo de asignación es una herramienta que permite determinar para cada movimiento Origen-Destino, el mejor recorrido sobre el sistema de transporte planteado. Se trata de un algoritmo de computadora que busca dicho recorrido óptimo.

Los datos que alimentan al modelo comprenden una matriz con los viajes entre cada pareja de zonas, la red de transporte que cubre dichas zonas, y datos de control de sistema, que incluyen las velocidades de trayecto y tiempos de espera en los elementos de la red. El algoritmo supone que los viajes entre las diferentes zonas se efectúan por la ruta de menor esfuerzo, a través de la red vial.

Cronológicamente, el primer modelo diseñado fue el "Modelo preliminar de distribución de viajes" (MPDV). Tuvo como finalidad determinar la estructura que define la distribución de los viajes de la ciudad de México, y aportar valores para el diseño del "Modelo de accesibilidad" (MA).

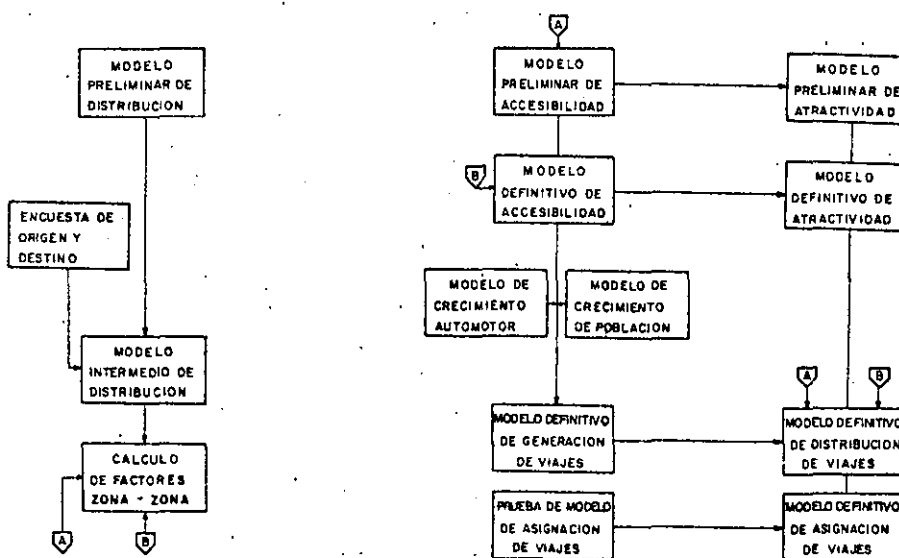


Fig. 1 Bateria de Modelos del PRVT

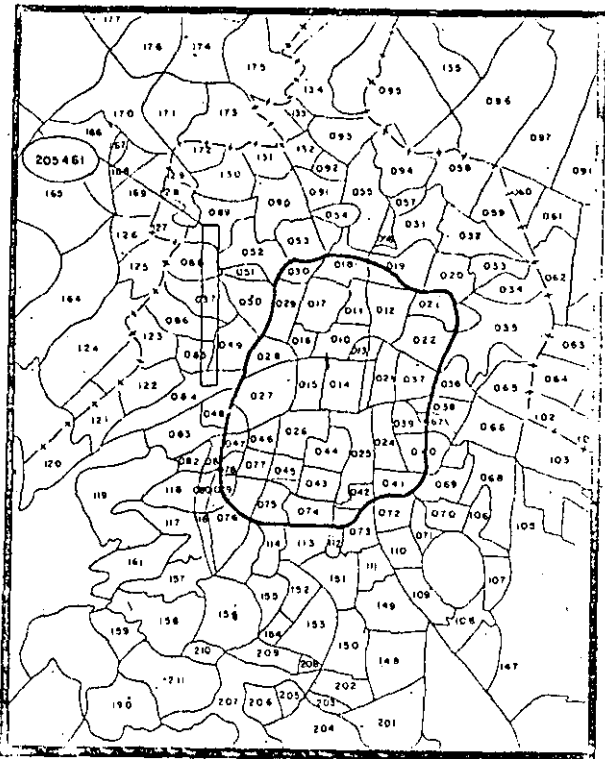


Fig. 2-A- Generación de Viajes (Sector 084)

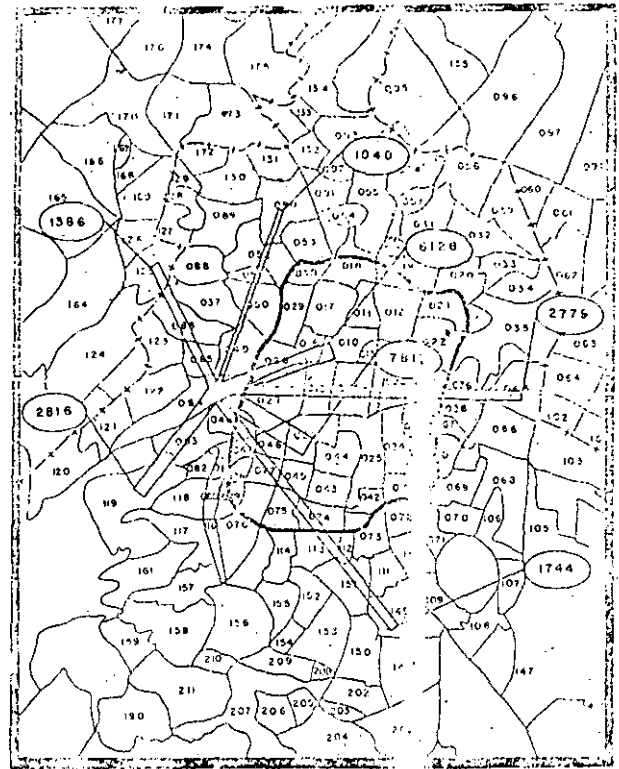


Fig. 2-B- Distribución de Viajes desde el sector 084



Fig. 2-C- Red de transporte

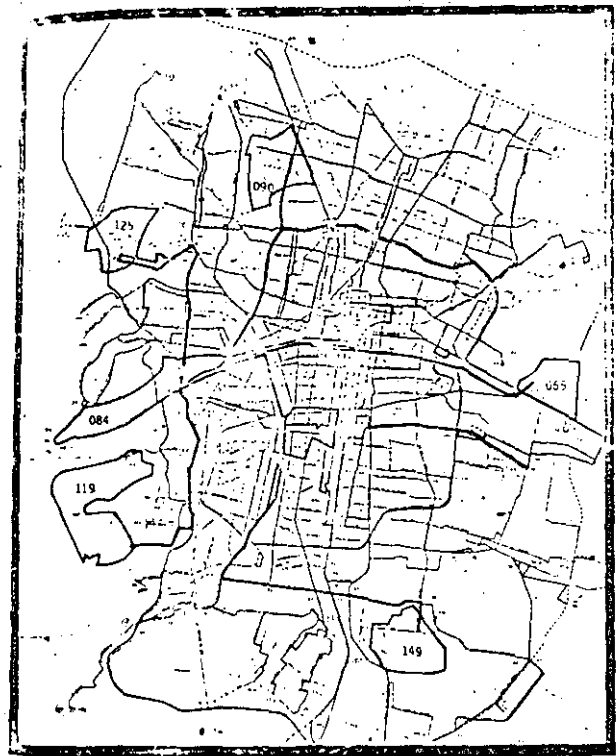


Fig. 2-D- Rutas mínimas desde el sector 084

La dispersión de cada valor es presumible que tenga una explicación conforme a las condiciones locales del sector, y la reproducción del efecto de esas condiciones locales sobre los resultados quedó a cargo de los FAZZ. En cada caso, el movimiento deducido del MIDV sufrió un ajuste debido a su propio FAZZ, y ese producto matricial del vector extraído del MIDV y la matriz FAZZ constituyó el modelo definitivo de distribución de viajes (MDDV).

El MDDV requirió definir por anticipado los conjuntos de valores representativos del P_i y E_j , cuya determinación implicó la elaboración de los modelos de generación de viajes (MDGV) y de atractividad (MDA).

Como se comentó al principio, es necesario obtener el número de viajes que se produce en cada zona antes de proceder con su distribución. Este cálculo estuvo encomendado al "Modelo definitivo de generación de viajes" (MDGV). Aún cuando su determinación estuvo precedida de varios ensayos con carácter provisional, no aludiremos aquí sino a este último.

La expresión que define al MDGV es la siguiente:

$$V_i = 0.0024 P_i + 0.0021 N_i + 0.0796 A_i - 7.222$$

siendo:

V_i = Viajes producidos en sector i .

P_i = Población total del sector i .

O D	020	030	040
010	9556	13235	10454
020	—	3358	3643
030	3366	—	1733

Fragmento de la matriz O - D de viajes calculados.

O D	020	030	040
010	4178	1044	12155
020	—	0	106
030	0	—	0

Fragmento de la matriz O - D de viajes reales.

O D	020	030	040
010	0.472	0.079	1.163
020	—	0	0.029
030	0	—	0

Fragmento de la matriz O - D de factores de ajuste zona - zona (FAZZ).

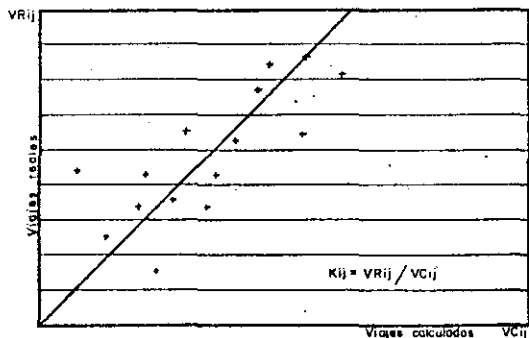


Fig. 5 Proceso de aplicación de los factores de ajuste Zona-Zonas (Fazz.)

N_i = Número de automóviles privados del sector i .

A_i = Accesibilidad del sector i .

El proceso de valoración de V_i para cada sector y para cada año de pronóstico se reduce a sustituir en la ecuación del MDGV las cantidades de P_i , N_i y A_i , también para tales años. Luego entonces es preciso comentar lo necesario sobre los modelos que definen esos parámetros.

La población de cada sector en cada año de proyecto (P_i) se cuantificó con base en los cálculos del Colegio de México³. Esta cuantificación requirió no obstante de adecuación, en virtud de que el estudio mencionado fue hecho a nivel delegacional, y nuestro enfoque tiene un nivel sectorial más desagregado.

El trabajo alusivo al número de vehículos por sector (N_i) constó de dos partes. En la primera de ellas se hizo el pronóstico del crecimiento general de los vehículos en toda el área⁴, conforme a dos hipótesis de crecimiento: una con variación exponencial y otra exponencial modificada, con un límite superior de crecimiento (Modelo de Gompertz). Las expresiones que resultaron son las que se ilustran a continuación.

Variación exponencial. $N_f = (1 + t)^X N_0$

siendo:

N_f = Número futuro de vehículos

t = Tasa histórica de crecimiento ($t = 0.1014$; hasta 1980)

X = Año del pronóstico ($x = 0$ en 1980)

N_0 = Número presente de vehículos (1980)

Variación exponencial modificada: $N_f = 6.99 - 5.32 (0.94)^X$ con el mismo significado.

En su segunda parte, el pronóstico del crecimiento vehicular se desagregó a nivel sectorial⁵. En esta etapa, el crecimiento vehicular del Distrito Federal en conjunto se detalló a nivel de cada fracción del área estudiada (cada uno de los 207 sectores) para poder aplicar el valor calculado de N_i en la expresión del MDGV. La ecuación de modelo resultó la siguiente:

$$n_f(i) = F_p(i) N_f$$

siendo:

$n_f(i)$ = Número futuro de vehículos en el sector i .

N_f = Número futuro de vehículos en el Distrito Federal.

$F_p(i)$ = Factor de participación del sector i , conforme a las hipótesis detalladas en el trabajo citado.

El parámetro A_i de la ecuación del MDGV representa la accesibilidad del sector.

La accesibilidad (A_i) puede ser entendida como una medida del comportamiento de la movilidad y de la calidad de la interacción entre las diferentes zonas de una área urbana; una medida de la facilidad para desplazarse de y hacia cada zona del área. O sea que el número de viajes que se originen y lleguen a cada sector está parcialmente determinado por su accesibilidad, sea en el presente o sea en el futuro.

De las diversas expresiones que existen para cuantificar la accesibilidad, se escogió la sugerida por W.G. Hansen⁶ que,

una vez adecuada al problema particular de México, condujo a las expresiones que se indican a continuación.

$$\text{Accesibilidad sectorial. } A(i) = \sum_{j=1}^n E_j F_{ij} K_{ij}$$

Siendo:

- A (i) = Valor calculado de la accesibilidad del sector i.
- E_j = Número de viajes atraídos por cada una de las zonas restantes j.
- F_{ij} = Parámetro conocido como "Factor de Fricción" entre i y j, calculado con base en el MPDV (7).
- K_{ij} = Factor ajuste zona-zona entre i y j, ya mencionado antes. (FAZZ).

En razón de su estructura el modelo de Accesibilidad dio un valor diferente para cada sector. Para hacer su manejo más cómodo se agruparon las diferentes accesibilidades sectoriales dentro de 5 rangos y así se incluyó en el MDGV⁸.

El planteamiento y desarrollo de los tres modelos enunciados (P_i, N_i y A_i) permitió a su vez la aplicación del MDGV a los horizontes de planeación previstos, obteniéndose así el número de viajes que se originará en cada sector en cada fecha de proyecto⁹.

Una vez cuantificados los viajes que se generan o producen en cada subdivisión del AMCM fue necesario conocer el poder de atracción (E_j) que cada una de dichas subdivisiones ejerce sobre las restantes. En el MPDV el valor de E_j estuvo dado por los empleos disponibles detectados durante la ENH.

La atracción de los sectores de un área urbana es un fenómeno bastante complejo debido a la diversidad de factores que intervienen en la decisión de los grupos humanos que se trasladan. De una manera elemental se puede asociar a los empleos disponibles, para viajes laborales; a las plazas escolares de las zonas, para viajes de carácter educativo; a la superficie destinada a la venta al público por las empresas comerciales o de servicios, para tales tipos de traslados, etc. De hecho en toda subdivisión urbana aparecen de ordinario todas las actividades que inducen movimientos y su cuantificación resulta complicada por la frecuente escasez de datos.

El análisis de la atracción de los sectores de la Ciudad de México se efectuó proponiendo varias estructuras de modelos. Aquella que mejor se adaptó a los datos de calibración correspondió con la expresión que se anota en seguida (MPAV).

$$E_j = a (PEA)_j + b A_j + c (CD)_j + d$$

siendo:

- E_j = Atracción del sector de destino j,
- (PEA)_j = Población económicamente activa del sector j,
- A_j = Accesibilidad del sector j,
- (CD)_j = Densidad demográfica de j,
- a, b, c, y d = Parámetros de estado del modelo.

El modelo de atracción tuvo un comportamiento muy peculiar. Al definir aquellas variables independientes que arrojaban mejor correlación con la dependiente, la Accesibilidad, la Densidad de población y la Población (PEA) del sec-

tor resultaron las más relevantes. Sin embargo, la densidad demográfica del sector manifestó una notable estratificación en su comportamiento.

En efecto, al tomar la densidad indiscriminadamente su correlación con respecto al atractividad escasamente llegó a 0.45. En cambio, al clasificarla en cuatro rangos de variación, identificados en la gráfica Atractividad vs Densidad, el índice de correlación de los rangos tuvo un valor mínimo de 0.679 y un valor máximo de 0.996 que son bastante aceptables. Luego entonces, el modelo de atractividad definitivo (MDAV) en realidad consta de cuatro conjuntos de valores paramétricos, de acuerdo con los correspondientes rangos de la densidad¹⁰.

Pese a la baja correlación de la atractividad con la PEA (0.54) el modelo se comportó mejor incluyéndola (la PEA) que sin incluirla.

Densidad de población:		Valor de los parámetros			
		a	b	c	d
0	100	8.20	-12.04	1,942	- 11,221
101	200	5.87	17.40	6,382	777,889
201	300	8.85	- 5.88	-37	30,979
301 en adelante		1.33	- 9.08	3,717	1'187,425

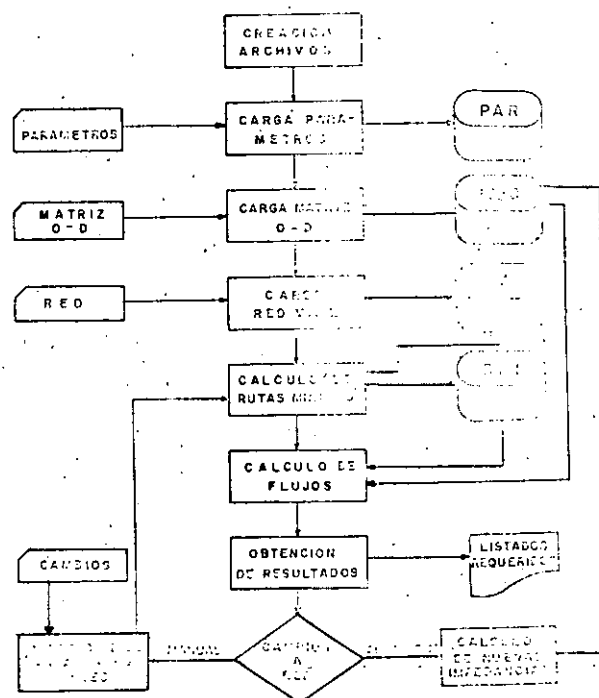


Fig. 6 Flujoograma del modelo de asignación

Una vez en disponibilidad de los resultados del MDDV, restaba asignar los movimientos ya distribuidos a la red de transporte. Dicho proceso estuvo a cargo del modelo de asignación (MASV).

El modelo de asignación de viajes (MASV) tiene como función transformar las líneas de deseo de movimiento en volúmenes de usuarios en los arcos de la red de transporte. Las líneas de deseo, implícitas en los elementos de la matriz origen-destino, no tienen por sí mismas una correspondencia con los recorridos que pueden hacerse realmente en la ciudad; son trayectorias de tipo directo (a "vuelo de avión").

El algoritmo del MASV pues, traslada dichas líneas de deseo a la red, diseñando trayectos (sobre la red) que cumplan con el mismo cometido. Para ello se recurre a la optimización de un parámetro (impedancia) a cuyo valor mínimo corresponde la asignación. Ejemplificando: para cada pareja origen-destino, la computadora comprueba; entre todos los trayectos posibles, aquel de menor impedancia, y a cada arco de dicho trayecto asigna el volumen de movimiento implicado en la línea de deseo¹¹.

Es menester anotar que fue necesario diseñar un ejemplo a escala reducida (una especie de pequeña ciudad) mediante el

cual se probaron las diversas rutinas que componen el algoritmo de asignación, antes de aplicarlo al ejemplo real de la ciudad de México¹².

A continuación se muestran tanto el diagrama de flujo simplificado del proceso, como diversos ejemplos de la codificación de entrada, los listados de salida y la graficación de las cargas resultantes sobre una línea del sistema.

El MASV tiene una gran flexibilidad de manejo de la información de entrada, sea de los datos O-D o de la red del transporte. Así mismo permite valorar incontables aspectos de la transportación, de los que se da a continuación algunos ejemplos.

Información de matriz de origen-destino.- Lista el número de viajes entre cada pareja de origen y destino.

Información de rutas mínimas.- Lista el camino que sigue el pasajero a través de la red vial, para detección de problemas de conexión.

Información de control de modelo.- Lista de parámetros de control del modelo para su verificación, tales como las velocidades y tiempos de espera de cada tipo de rama.

Información de líneas.- Este producto del modelo resume ascensos, descensos y utilización de cada línea de transporte, permitiendo observar flujos, tiempos, distancias, impedancias y capacidades.

Información de ramas saturadas.- Este listado proporciona una relación de las ramas que exceden su capacidad, informando qué parejas de origen-destino conforman los viajes de la rama. Esta información está orientada a determinar las líneas de transporte susceptibles de modificación de sus características operativas.

Graficación de flujos.- Este producto permite observar en una gráfica generada por la computadora el flujo de pasajeros en una línea de transporte.

En su estado actual, el modelo considera que los viajes se efectúan por la ruta más corta de impedancia, aunque en la realidad cierto porcentaje de los pasajeros efectúa recorridos ligeramente mayores al óptimo. Existen técnicas matemáticas para dispersar los flujos en rutas subóptimas. Se encuentra en fase de preparación su incorporación al MASV. (Gráficas Anexas)

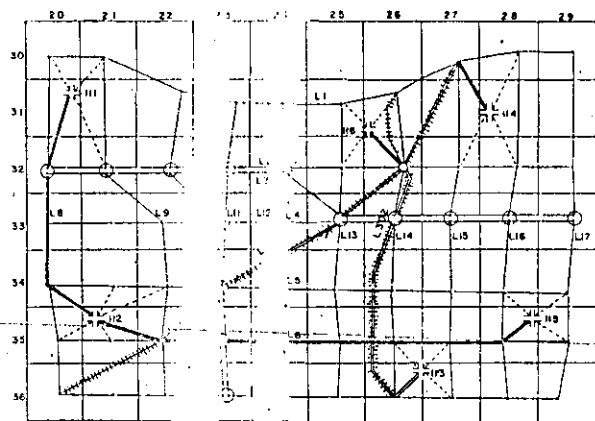
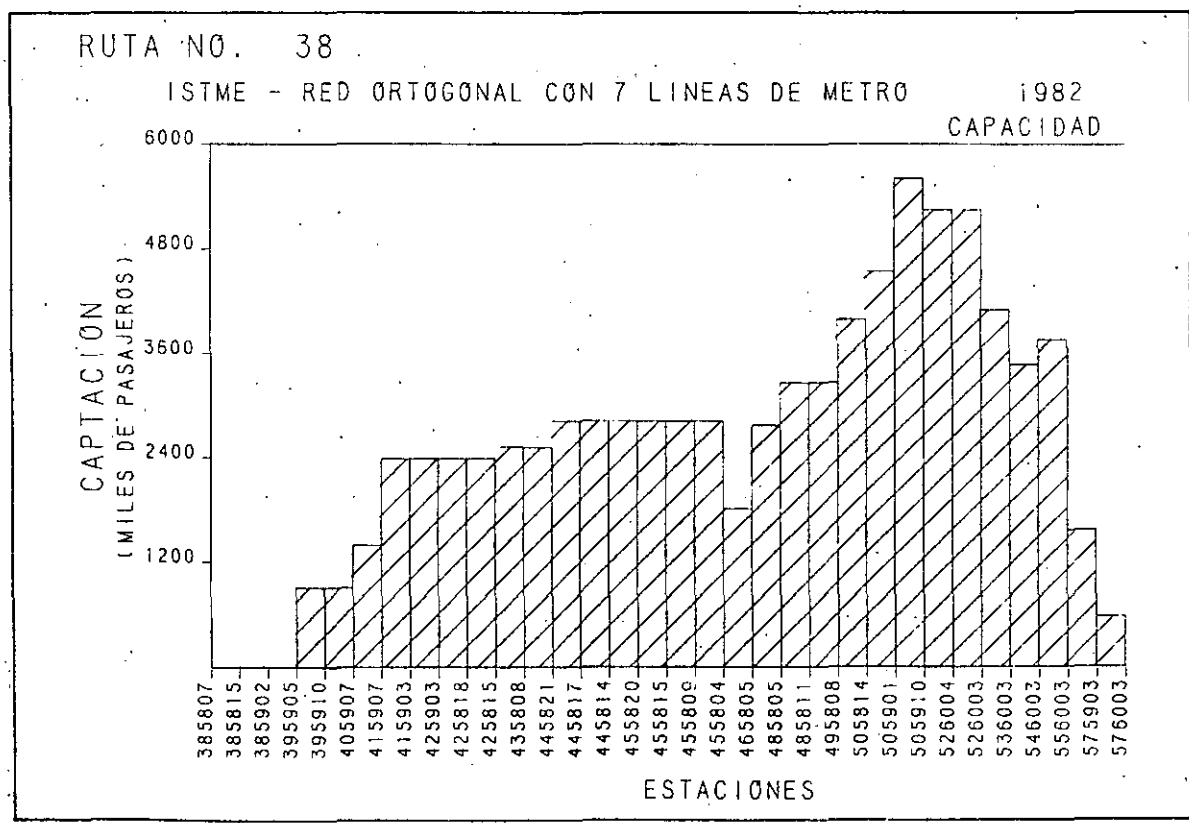
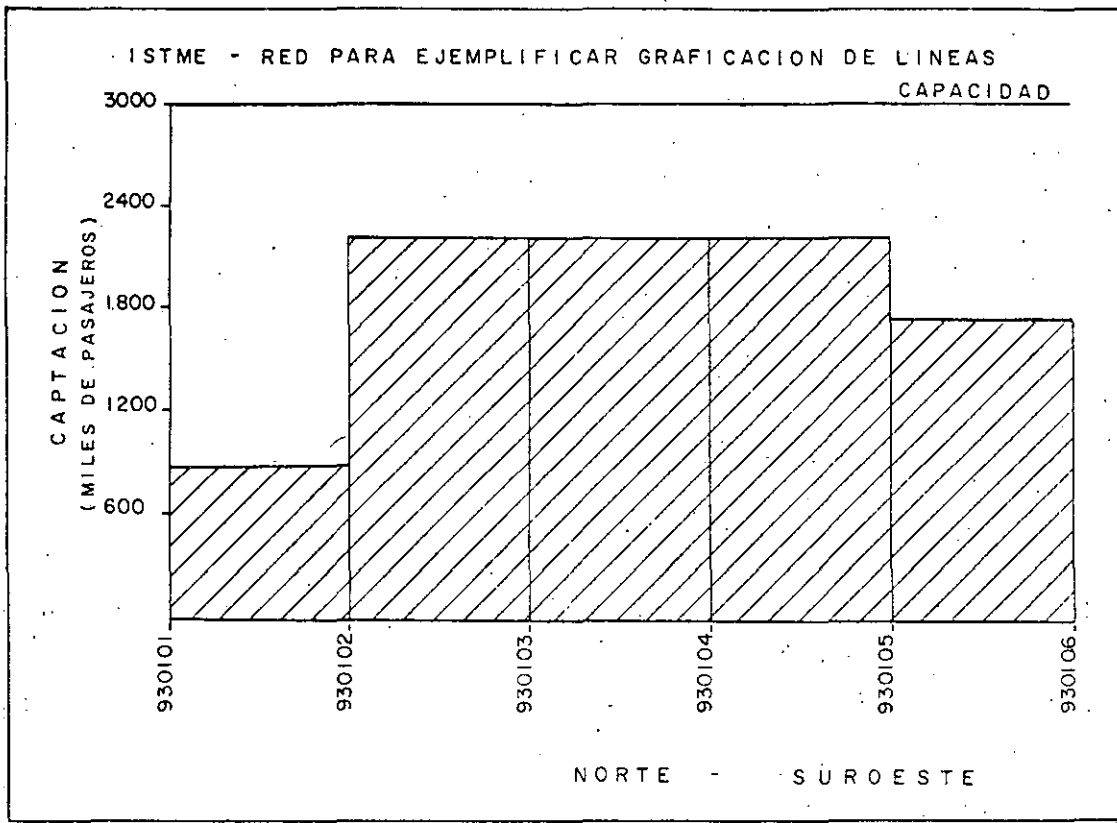


Fig. 7 Rutas mínimas de Centroide No. 112

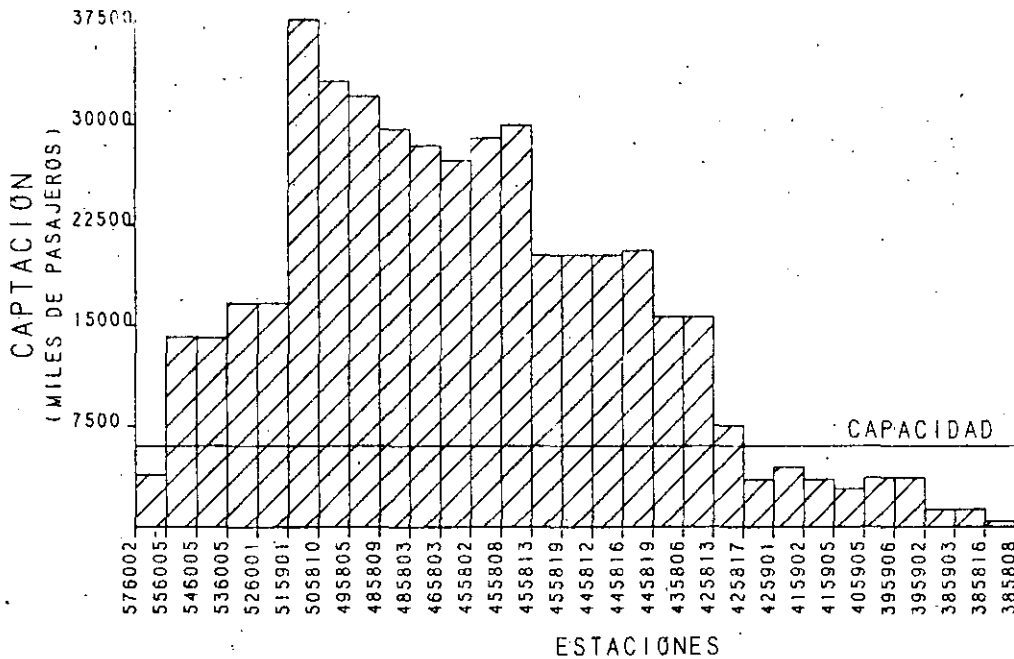
*** MODELO DE ASIGN. SLIRM RUTAS MINIMAS				*** RED VIAL DE PRUEBA *** PAG. 3 16/10/81 PROCESO 15							
ORIG.	DEST.	IMPED.	LA	A							
112	115	1894	112	30	900	900604	900605	900606	900607	900608	900609
112	113	1409	112	30	930	930103	930104	930105	930202	930203	930204
112	114	1167	112	30	930	930103	930104	930105	930106	273080	114
112	116	1984	112	30	930	930103	930104	930105	263280	116	
112	111	1375	112	30	900	900802	203280	111			



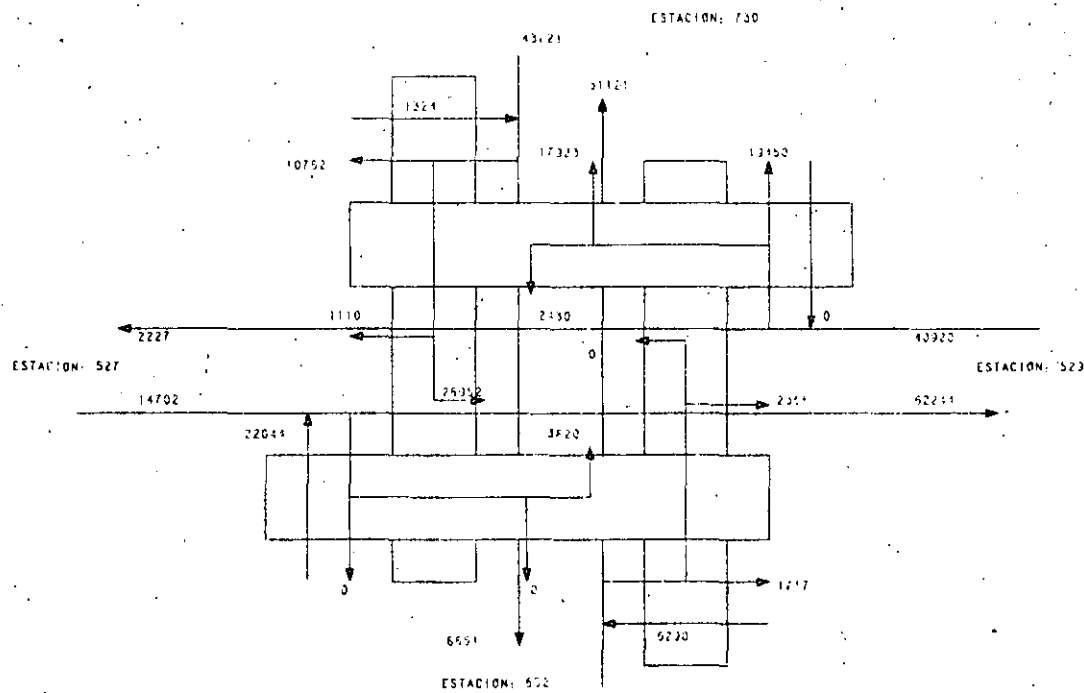
RUTA N^o. 38

ISTME - RED ORTOGONAL CON 7 LINEAS DE METRO

1982



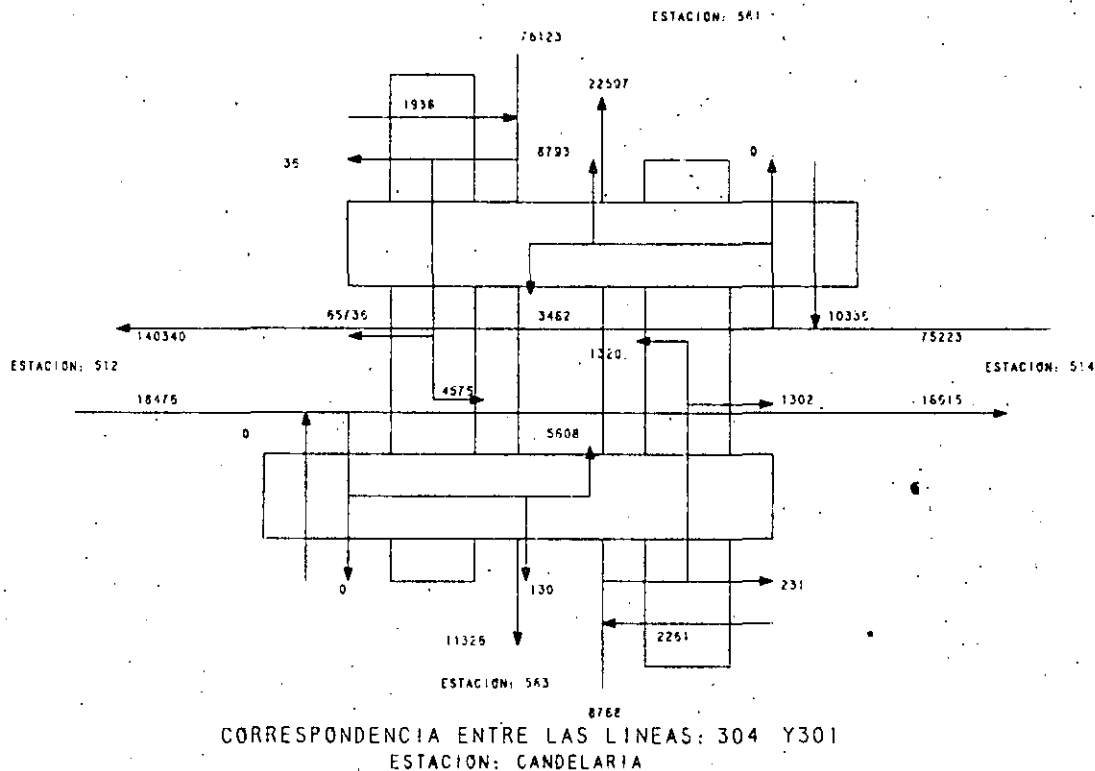
ISTME - TERCERA ALTERNATIVA LINEAS METRO 1984



CORRESPONDENCIA ENTRE LAS LINEAS: 307 Y 302
ESTACION: TACUBA

8

ISTME - TERCERA ALTERNATIVA LINEAS METRO 1984



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- "Modelo preliminar de distribución de viajes". Reporte. ISTME. 1979.
- 2.- "Encuesta domiciliaria origen-destino en la Ciudad de México". Reporte. ISTME. 1981.
- 3.- "Estudio Demográfico del Distrito Federal" Tomo II. Colegio de México. 1975.
- 4.- "Pronóstico del crecimiento vehicular en el Distrito Federal". Reporte. ISTME 1980.
- 5.- "Pronóstico vehicular a nivel sectorial". Reporte. ISTME. 1980.
- 6.- "How Accessibility Shapes The Land Use". W.G. Hansen. 1959.
- 7.- "Cálculo de la accesibilidad de los sectores del Area Metropolitana de la Ciudad de México". Reporte. ISTME. 1980.
- 8.- "Modelo de generación de viajes (accesibilidad estratificada) del Area Metropolitana de la Ciudad de México". Reporte. ISTME. 1980.
- 9.- "Pronóstico de viajes generados por sector para diferentes horizontes de proyecto" Reporte. ISTME. 1980.
- 10.- "Modelo definitivo de atraktividad de los viajes" Reporte ISTME. 1981.
- 11.- Descripción del modelo de asignación de viajes". Reporte P.S.I. 1981.
- 12.- "Modelo de asignación de viajes del Area Metropolitana de la Ciudad de México. Red de prueba". Reporte. P.S.I. 1981. ■

¿Cada una de las nuevas líneas proporciona un incremento razonable en pasajeros?

¿Una alternativa con buena captación es técnicamente operable?

¿Para dos alternativas con captación semejante, cual operación menor costo e inversión en material rodante?

¿Que problemas de congestionamiento presenta cada alternativa?

¿Las estaciones de correspondencia (transferencia de una línea a otra) que actualmente se encuentran cerca del punto de saturación, son aliviadas?

¿Cuál es la distribución óptima de trenes entre las diferentes líneas?

¿Cuál es la frecuencia de trenes que minimiza el tiempo de espera de pasajeros en las estaciones y con que incremento de costo de operación?

La solución a estas preguntas, son el objetivo primordial de los Modelos desarrollados para la evaluación de alternativas.

Estos son los Modelos Externo e Interno.

Como es fácil imaginar, la expansión del sistema, provocará un patrón de viajes diferentes al actual y su proyección no-

puede ser obtenida por la simple extrapolación del patrón actual.

Por consiguiente son requeridas herramientas para la investigación del funcionamiento del Metro, no sólo como ayuda para la evaluación de alternativas, sino también para la mejor -- distribución de equipo y para el ajuste de ésta durante la operación.

2. POSIBLES ENFOQUES EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA.

Los dos enfoques básicos que han sido utilizados para la solución del problema, son métodos analíticos y las técnicas de simulación. La evaluación analítica es satisfactoria, pero adolece de los siguientes defectos: su aplicación es limitada y no es lo suficientemente flexible para permitir el estudio de diferentes alternativas. Las técnicas de simulación permiten manejar bajo el mismo estándar de comparación a todas las alternativas. El planteamiento de un Modelo de Programación Lineal, requeriría un gran número de variables y restricciones, y no permitiría el análisis de problemas de congestionamiento horario, dentro de límites razonables de tiempo de computador. Por otra parte, para el mismo grado de confiabilidad de resultados, los estudios por técnicas de simulación son más económicos que por los métodos de Programación Lineal. Por estas razones se decidió utilizar las técnicas de simulación.

Con objeto de obtener herramientas más flexibles, se diseñaron e implementaron dos modelos operativamente independientes, pero con transferencia de información del primero hacia el segundo. Estos modelos fueron bautizados como Externo e Interno.

El Modelo Externo es una representación del movimiento de pasajeros en transporte colectivo de la Ciudad, viajando sobre una red de avenidas y calles a una velocidad constante por sector, conociendo los orígenes y destinos de los pasajeros en un instante dado. A la red de avenidas y calles se encuentra superpuesta la red de Metro, con velocidades constantes, superiores a la red superficial.

El efecto de expandir el sistema, se manifiesta al conectar las líneas propuestas en la alternativa en estudio a la red de Metro existente y analizar por medio del Algoritmo de Ruta Mínima las nuevas rutas de viaje de los usuarios. La presencia de nuevas rutas de Metro (de mayor velocidad) atraerá pasajeros que originalmente utilizan la red superficial, a utilizar el Metro.

El resultado del Modelo Externo es una Matriz Origen-Destino de pasajeros del Metro. Este es uno de los datos primordiales para el Modelo Interno.

El Modelo Interno representa la operación del Sistema completo y está dividido en 3 submodelos:

- Submodelo de Distribución
- Submodelo de Estaciones de Correspondencia
- Submodelo de Operación de una Línea

El análisis del problema nos indica que la operación de cada

línea es independiente de las demás. El efecto de una línea en otra, sólo está determinado por el flujo de pasajeros en las estaciones de correspondencia. Se evaluó la posibilidad de simular el Sistema Completo en una sola aplicación del Modelo y esta idea se desechó por requerir un Modelo mucho más complejo y menos flexible para analizar problemas específicos de una sola línea y no aportar ningún beneficio extra en cuanto a resultados.

Con el Submodelo de Distribución, se obtiene el flujo de pasajeros en cada estación de una línea, incluyendo el efecto del resto de líneas del Sistema a través de las estaciones de correspondencia.

El Submodelo de Estaciones de Correspondencia, nos permite analizar los flujos de pasajeros en este tipo de estaciones.

El Submodelo de Operación recibe información del Submodelo de Distribución y analiza el paso de trenes por estaciones, maneja el ascenso y descenso, la entrada y salida de pasajeros en la estación y calcula los índices para la evaluación del congestionamiento.

3. MODELO EXTERNO.

Los objetivos fundamentales de este Modelo son:

- I. El Modelo debería servir como un calibrador de la cap
tación de pasajeros de la alternativa en estudio.

El Modelo debería ser sensible a los cambios de ubica
ción de estaciones (en un rango apreciable) y la dife
rente conexión de las líneas con el sistema actual.

- II. El Modelo debería servir para simular, tanto situa---
ción actual como futura, obteniendo el crecimiento de
la Ciudad en cada uno de sus sectores.

Estos requerimientos condujeron a diseñar un Modelo de Si
mulación como un Modelo gravitacional de viajes entre sec
tores, con crecimiento independiente por sector y aplican-
do esta Matriz de viajes a la red vial de la Ciudad. El -
Algoritmo de Rutas Míminas calcula las diferentes ramas -
del viaje, que por la inclusión de las nuevas rutas del -
Metro permiten una reducción en el tiempo total de viaje-
de cada par origen-destino.

4. MODELO INTERNO.

A. REQUERIMIENTOS

Para servir como herramienta para investigar el comportamiento del Sistema complejo que representa el Metro, el Modelo tuvo que ser diseñado para cumplir tres requerimientos básicos:

- I. El Modelo debería servir como una ayuda en la asignación de trenes del Sistema. Tiene que ser sensible a los cambios en asignación, no sólo en términos del número de trenes, sino también a combinaciones en el número de vagones. Ampliando el concepto, estos cambios en la asignación pudieran hacerse con la modificación de pocos parámetros.
- II. El Modelo debería servir para la prueba de políticas de operación de cada línea, de tal manera que estos cambios puedan incorporarse fácilmente.
- III. El Modelo debería servir no sólo para simular una situación actual, sino permitir la evaluación en condiciones de operación futura, conociendo el incremento de pasajeros por crecimiento natural.

B. NIVEL DE DETALLE E HIPOTESIS

Los requerimientos anteriores tienen un número de im-

plicaciones. Dado que el Modelo debería ser apto para simular diferentes alternativas, en diferente tiempo y en diversas combinaciones de construcción, tuvo que ser diseñado para cubrir el mínimo común denominador de necesidades.

El Modelo tiene las siguientes hipótesis:

- El efecto de una línea sobre otra, sólo es medido por el número de pasajeros que efectúan transferencias en las estaciones de correspondencia.
- La distribución horaria de arribo de pasajeros es igual en todas las estaciones.
- En la selección de la ruta de viaje, los pasajeros siguen el criterio de tiempo de recorrido mínimo, que incluye el tiempo necesario para efectuar una correspondencia.
- En las simulaciones efectuadas en la evaluación de alternativas, se utilizó un patrón de tiempo entre salidas de trenes constante para todas las líneas y en todas las alternativas, de manera de tener la misma base de comparación. Este patrón permitía operar a M segundos de salida entre trenes de las 7:30 a las 10:00 y entre las 17:30 y las 20:00 y de 2 M segundos (límite de 480 segundos) el resto de las 17 horas de

operación. El valor de M varía, dependiendo del número de pasajeros transportados.

Este patrón puede ser cambiado para la simulación con fines de estudio del mejoramiento de la operación del Sistema.

-Se conoce la capacidad en pasajeros de cada tren y si un tren es saturado, quedan pasajeros esperando en el andén.

-El Modelo supone conocido el tiempo de viaje entre estaciones consecutivas de cada línea, que debe incluir el tiempo de estacionamiento en la estación de llegada.

-El tiempo de maniobras en las estaciones terminales, es el tiempo necesario para que el tren cambie de vía y esté disponible para salir.

-Se conoce el tamaño de los depósitos de trenes en cada estación terminal y el número de trenes disponibles en cada terminal al principio del día.

-Se debe conocer la hora de salida del primer tren en cada terminal.

-Se conoce también el número de estaciones y la longitud de la línea.

C. FLUJO DE PASAJEROS

La captación de pasajeros es uno de los resultados del Modelo Externo, en la forma de una Matriz de Origen--Destino que incluye todas las estaciones del Sistema.

Con objeto de poder simular cada línea, es necesario obtener una Matriz Origen-Destino para cada línea. Como se mencionó entre las hipótesis la ruta seguida -- por los pasajeros es la de menor tiempo. Para obtener el flujo de cada línea es necesario simular todos los posibles viajes que puedan generarse entre las diferentes estaciones del Sistema y computar el número de pasajeros que son transferidos en las estaciones de correspondencia. Este Submodelo nos proporciona también el número de pasajeros que pasan de cada vía de una línea a cada vía de otra línea y el número de pasajeros que son transferidos de / a la calle de cada vía.

Este Submodelo de Distribución utiliza el Algoritmo de Ruta Mínima planteado por Lieberman y Hillier de la Universidad de Stanford, modificado para redes bidireccionales y optimizado para reducir el número de iteraciones.

El Submodelo de Operación del Metro trabaja con el -- concepto de pasajeros transportados de cada línea, o

sea los pasajeros que hacen uso de las instalaciones de la línea (andenes, trenes): mientras que el Modelo Externo maneja el concepto de pasajeros captados por la línea, que son pasajeros que entran al Sistema en la línea.

El objetivo de los Submodelos, es determinar los pasajeros transportados por cada línea y presentarlos al Submodelo de Operación como una Matriz Origen-Destino de la línea.

D. ESQUEMA GENERAL DEL SUBMODELO DE OPERACION

El Submodelo simula una línea del Metro en donde se conoce el tiempo de viaje entre estaciones, el tiempo de maniobras, el tiempo de estacionamiento de las estaciones terminales, el número de trenes disponibles al principio del día y el número de trenes que pueden contener los depósitos de las terminales.

Los trenes son despachados de acuerdo al patrón de salidas de cada terminal. Si existe un tren disponible, es despachado; si no hay un tren disponible, se lleva control del tiempo de espera.

Cada tren, cuando llega a una estación, libera a los pasajeros que deben bajar en esa estación, y el Modelo calcula el número de pasajeros que han llegado des

de que pasó el tren anterior por la estación en cuestión. Si en el tren hay espacio para todos los pasajeros que esperan en el andén, estos son introducidos al tren, en caso contrario, suben pasajeros hasta saturar la capacidad del tren. Se mantiene una cola -- FIFO (First in-First out) para el ascenso al tren.

Una vez conocido el número de personas que ascendieron al tren, se asigna la estación en que descenderán y se repite el proceso de descenso y ascenso hasta -- que el tren llega a la terminal.

En cada estación se mantienen estadísticas que permitan evaluar el comportamiento del Sistema.

Al llegar el tren a la estación terminal, se ajusta el número de trenes disponibles y se calculan datos -- de kilómetros-vagón recorridos y los índices de saturación.

E. RESULTADOS DEL MODELO

Los resultados de la simulación, que pueden obtenerse cada hora son:

- 1) Número de trenes que se encuentran transitando.
- 2) Probabilidad de no abordar un tren por estar saturado.
- 3) Número de viajes iniciados en cada terminal.

- 4) Kilometros -vagón utilizados.
- 5) Índice de saturación (pasajeros transportados/kilometros -vagón).
- 6) Pasajeros transportados por toda la línea.
- 7) Número de pasajeros que están viajando en cada tren - en tránsito.
- 8) Distribución y probabilidad acumulada del máximo número de personas en los viajes de cada vía y de la combinación de ambas vías.
- 9) Distribución y probabilidad acumulada del porcentaje - de ocupación promedio en los viajes de cada vía y de la combinación de ambas.
- 10) Distribución y probabilidad acumulada del porcentaje - del máximo número de personas con respecto a la capacidad del tren en los viajes de cada una de las vías y de la combinación de ambas.
- 11) Número de pasajeros que esperan en cada andén por no poder abordar trenes saturados.
- 12) Hora en que pasó el último tren en cada andén.
- 13) Máximo número de personas que han estado en cola por haber trenes saturados (por cada andén).

- 14) Total de pasajeros -segundo, perdidos por haber trenes saturados (por cada andén).
- 15) Máximo número de personas que han descendido en cada andén.
- 16) Máximo número de personas a bordo del tren en cada interestación.
- 17) Número de pasajeros que han tenido que esperar por haber trenes saturados (por cada andén).
- 18) Tiempo promedio de espera por haber trenes saturados (por cada andén).
- 19) Total de pasajeros -segundo utilizados por espera normal de trenes.
- 20) Número de pasajeros que entran a cada andén.
- 21) Tiempo promedio utilizado por espera natural.
- 22) Total de pasajeros que descienden en cada andén.
- 23) Total de pasajeros que transitan en cada interestación.
- 24) Máximo número de personas que ascienden a los trenes en cada andén.
- 25) Máximo número de personas que cruzan simultáneamente las puertas del tren (ascensos y descensos) en cada andén.

5. IMPLEMENTACION EN COMPUTADOR.

A. SELECCION DEL LENGUAJE.

La selección del lenguaje en el que implementar el Modelo de Simulación, estuvo basado en los siguientes factores:

De mayor importancia, fué el desarrollar un Modelo flexible y fácil de operar. El segundo factor, fué la facilidad de programación y el tiempo estimado de proceso del modelo.

Después de analizar las diferentes alternativas de implementación, se determinó programar el Submodelo de Operación en GPSS (General Purpose Simulation System) y los otros Submodelos y el Modelo Externo en FORTRAN IV. Todo el modelo opera bajo Operating System del Computador IBM-370.

B. IMPLEMENTACION.

Se desarrollaron los siguientes programas en FORTRAN IV - para la operación de los Submodelos:

Carga de Matriz Origen - Destino
Carga de Red Topológica
Carga de Tablas de Equivalencias

Carga de Tabla de Expansiones

Submodelo de Rutas Mínicas

Submodelo de Estaciones de Correspondencia

Submodelo de Influencia de Líneas

Se requirieron además diversos programas de utilería para soporte de programación.

C. RESTRICCIONES DE IMPLEMENTACION.

Los programas tienen las siguientes restricciones:

Máximo número de líneas por alternativa	15
Máximo número de estaciones por línea	25
Máximo número de estaciones por alternativa	200
Máximo número de correspondencias	25
Máximo número de tramos	225
Máximo número de líneas en una correspondencia	5
Máximo número de trenes asignados a una línea	48

Estas restricciones pueden ser cambiadas recompilando los diferentes programas.

D. TIEMPOS DE EJECUCION.

La ejecución de los Submodelos es de unos 5 minutos por alternativa.

Se ha obtenido una fórmula empírica para estimar el tiempo de ejecución del Modelo GPSS para cada línea.

$$T=100 \frac{N}{M}$$

Donde: N- es el número de estaciones de la línea.

M- es el intervalo mínimo entre salidas en segundos.

T- tiempo de ejecución del Modelo en minutos.

Estos tiempos se han calculado en la implementación que se ha hecho en IBM 370/145.

6. APLICACION DEL MODELO.

El modelo descrito con anterioridad fué utilizado para la evaluación de alternativas de expansión del Metro de la Ciudad de México. Con el modelo se simularon 4 alternativas (denominadas A, B, C y D) que resultaron representativas de más de 15 que se estudiaron.

ALTERNATIVA A.

Esta alternativa se caracterizaba por su disposición radial que se componía de 8 líneas formadas por la zona central de las líneas actuales y la porción exterior junto con ramales por construir. El planteamiento era el siguiente: las líneas exteriores servían de ramales captadores que en las nuevas estaciones de correspondencia alimentaban a las líneas centrales.

La simulación de esta alternativa con la primera distribución de trenes, permitió observar que en las líneas centrales (1, 2 y 3) quedaban pasajeros esperando en andén por largo tiempo, lo cual es inadmisibles. Una segunda distribución de trenes y operando éstos a los límites aconsejados por el fabricante, permitió evitar el congestionamiento en la mayoría de los andenes, pero se tendrían condiciones de saturación el primer día de operación de la alternativa.

Por otra parte el análisis de las estaciones de correspondencia indicó que se triplicaría el volumen actual de pasajeros en la estación Pino Suárez y se tendrían condiciones similares en Hidalgo y Balderas.

Mientras tanto, en las líneas periféricas, por lo general solamente un ramal captaba pasajeros, lo que obligaba a asignar suficientes trenes para manejar el flujo de un ramal, trenes que viajaban casi vacíos en el otro ramal.

Estos argumentos permitieron desechar la Alternativa A.

ALTERNATIVA B.

Esta alternativa presenta algunos variantes respecto a la anterior: la línea 2 no es dividida en líneas ramales y línea central, se propone una nueva línea periférica (línea 6) y se elimina la ramal sur de la línea 3.

La simulación de la alternativa B con el Modelo Interno, proporcionó los siguientes resultados:

La línea 1, parte central de la actual línea 1, presentó los mismos problemas descritos para las líneas centrales de la Alternativa A.

La línea 2 requería un número y frecuencia de trenes que la hacían operar en punto de saturación.

La línea 6 (periférica), requiere un número relativamente grande de trenes por ser de gran longitud, y se encontraba cerca del punto de congestiónamiento. Para resolver este problema, se requerirá quitar trenes de otras líneas, lo cual haría disminuir los niveles de servicio.

Con esta alternativa seguía sin resolverse el problema de Pino Suárez y la estación Hidalgo estaba cerca del congestiónamiento.

ALTERNATIVA C.

Con la experiencia obtenida con las alternativas anteriores se planteó la alternativa C, con las siguientes características:

- Se eliminaban los conceptos radial y periférico.
- Se plantea el sistema cuasi-cuadrado.
- Con objeto de desahogar Pino Suárez se penetra en el Centro de la Ciudad con una porción de línea paralela a la interestación más cargada (Merced -Pino Suárez).
- Se abren líneas en el Norte de la Ciudad, que presentan un gran mercado potencial de pasajeros.

Se resolvían en general los problemas de las alternativas anteriores, con la inclusión de la línea 4 que colaboraba a disminuir el tráfico de pasajeros de Pino Suárez.

La línea 6 observaba muy baja captación en la zona comprendida entre las líneas 1 y 2, una buena captación al sur de la línea 1. Esto llevaba a una sobreocupación de e equipo en unos tramos de la línea y una subocupación en otros. Por otro lado se observaron gran número de viajes en la dirección Este-Oeste en la zona norte.

La alternativa requería gran número de carros para operar.

ALTERNATIVA D.

Esta alternativa es semejante a la anterior, siendo su principal variante la modificación de la línea 6, que es colocada en el Norte de la Ciudad.

La simulación permitió observar:

- Disminución en el número de trenes.
- Mejoría en los índices de saturación.
- Todas las líneas operaban con margen de modificación de número de trenes a intervalo.
- Para captación semejante, el número de intercambios promedio resultó menor (los pasajeros requieren efectuar menos cambios de líneas), todo esto sin disminución del nivel de servicio.

SELECCION DE LA ALTERNATIVA.

Una vez simulada con Modelo Externo y Modelo Interno cada alternativa, se efectuó una evaluación.

La alternativa D resultó la propuesta para la expansión del Metro de la Ciudad de México.

Una pregunta se nos presenta ahora: ¿Cuál es la mejor secuencia de construcción de las ampliaciones?

Se observó con los resultados de simulación, que debería dar prioridad a la ampliación de la línea 3 y la construcción de la línea 4. Por otro lado, la ampliación pendiente de la línea 2, aunque de baja captación respecto a las anteriores, su función primordial es evitar la entrada de autos a la Ciudad provenientes del Noroeste.

Se plantearon, pues, dos secuencias: 2 y 4 ó 2 y 3.

Se simularon ambas redes, obteniéndose que la alternativa 2-3 requería mayor número de trenes para operar, que la 2-4 y agravaba la situación actual de Pino Suárez, como alternativa aislada.

Como comprobación de lo anterior, se simuló la secuencia 2-3-4 que redujo el congestionamiento de Pino Suárez.

7. CONCLUSIONES.

Del estudio, se pueden derivar las siguientes conclusiones:

El Modelo Externo es una herramienta muy valiosa para el análisis de captación de pasajeros.

Varias alternativas fueron rechazadas debido a su baja captación.

El Modelo Interno, diseñado primordialmente para simular la operación del Metro, fué usado ampliamente para rechazar alternativas con problema de congestión y para asignar el número de trenes necesarios para operar el Sistema.

Puede considerarse que la combinación de estos modelos, - permiten el análisis de alternativas de inversión, proporcionando datos de captación, congestionamiento, costos de operación, necesarios para ubicar cada alternativa en un plano de costo-beneficio.

El bajo costo relativo de análisis por medio de estos modelos reditúa en la aplicación de la mejor alternativa de las estudiadas.

8. BIBLIOGRAFIA.

Design and use of Computer Simulation Models.-

J.R. EMSHOFF & R.L. SISSON (Mac Millan)

Computer Modeling and Simulation.-

F.R. MARTIN (Wiley)

GPSS Primer.-

S. GREENBERG (Wiley)

Introduction to Operations Research.-

F.S. HILLIER & G.J. LIEBERMAN (Holden - Day)

Simsript. A Simulation Programming Language.-

H.M. MARKOWITZ, B. HAUSNER & H.W. KARR (Prentice-Hall)

GPSS/360. User's Manual (IBM)

System Simulation.-

G. GORDON (Prentice-Hall)

Técnicas de Simulación en Computadoras.

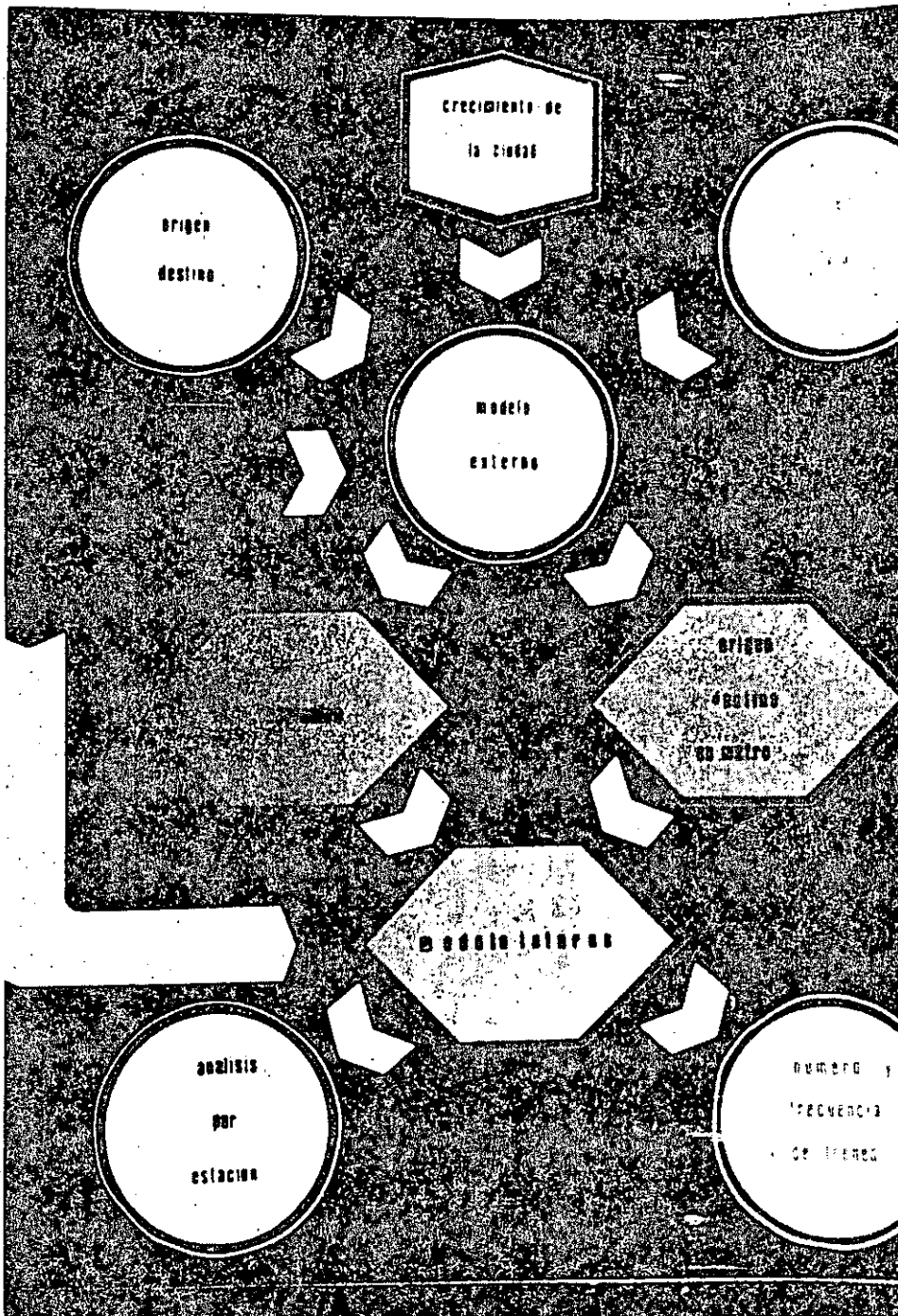
NAYLOR, BALINTFY, BURDICK y KONG CHU (Limusa Wiley)



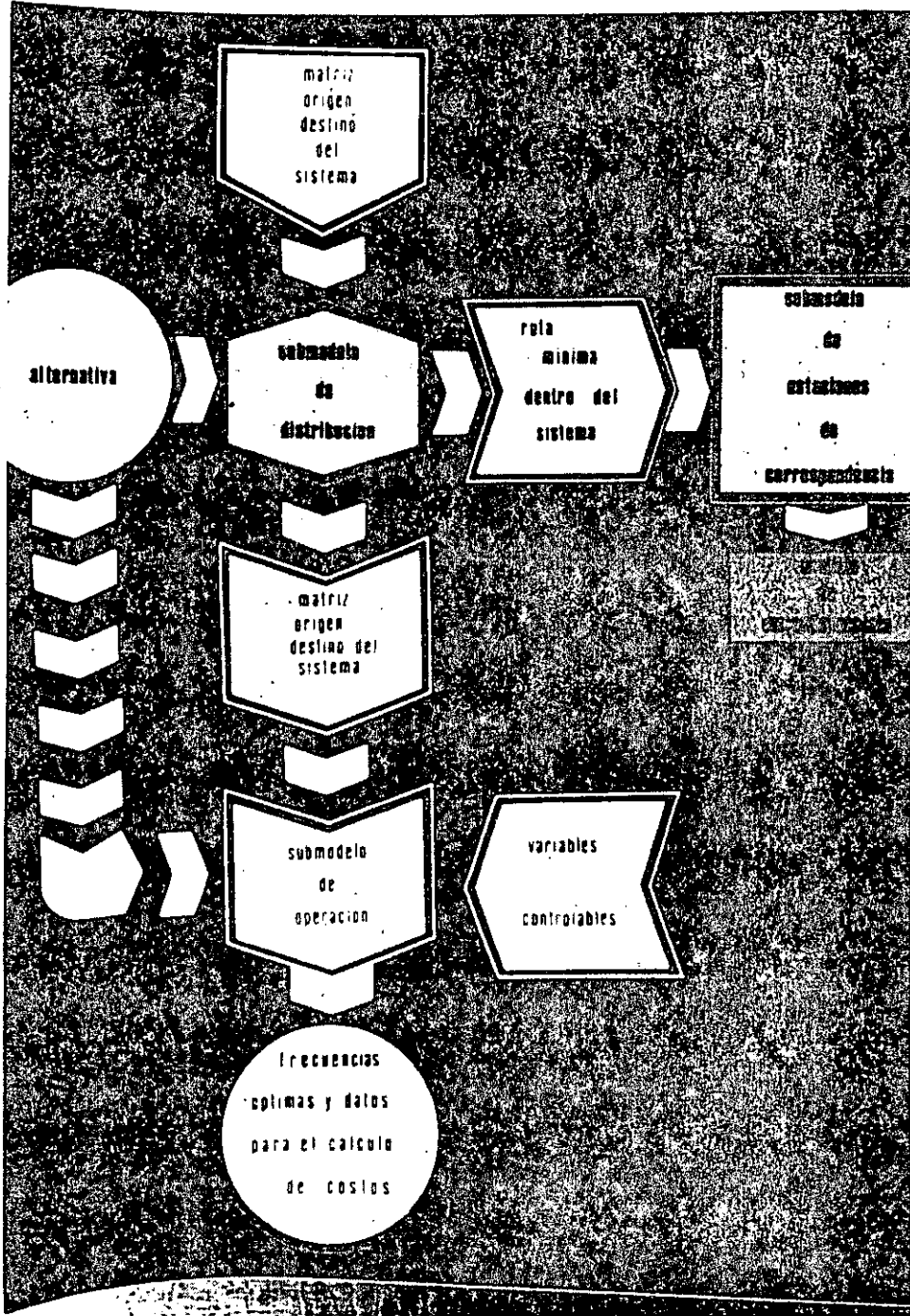


TRAZOS FACTIBLES DE FUTURAS LINEAS DEL METRO

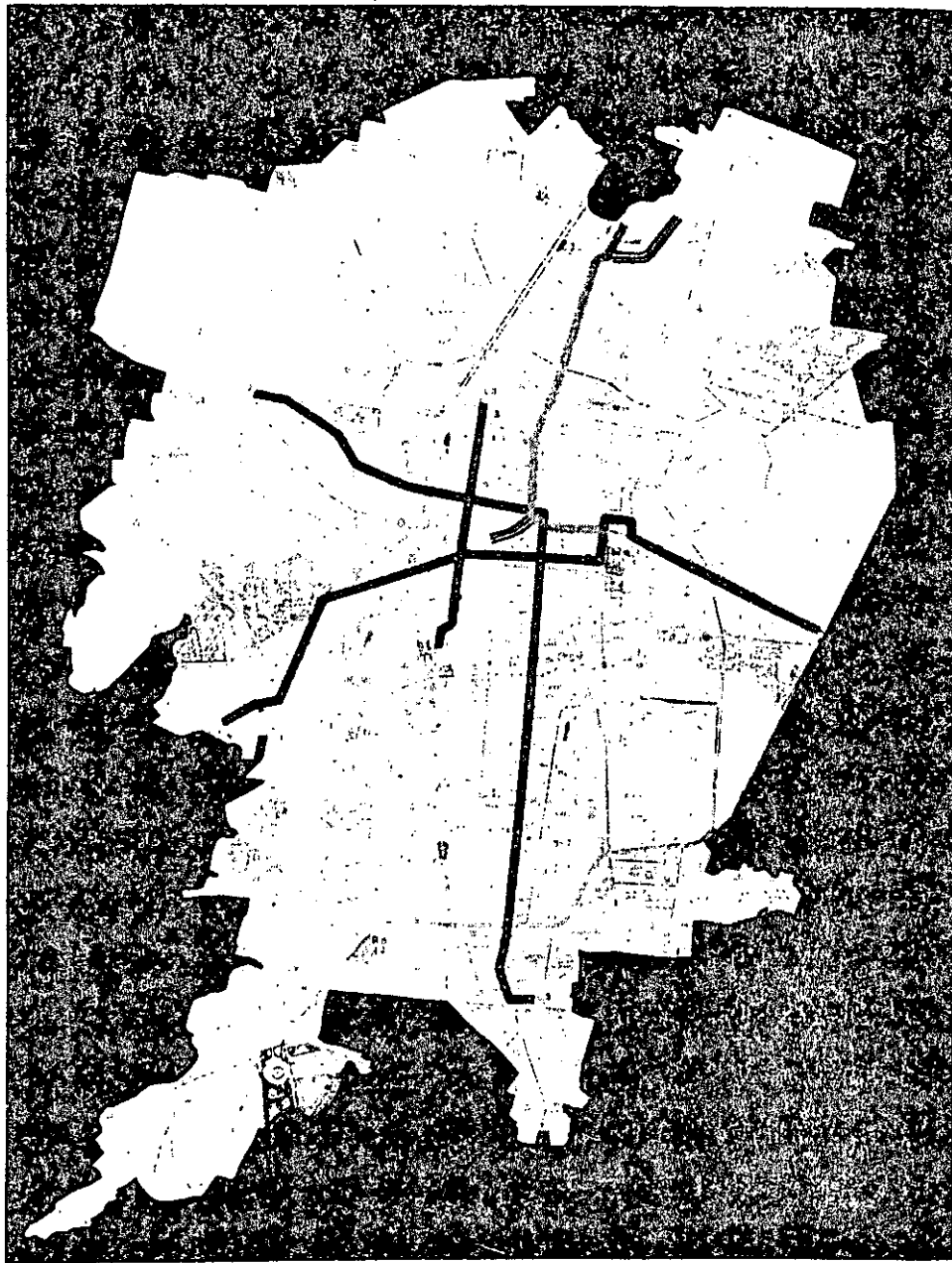
MODELOS DE SIMULACION



MODELO INTERNO

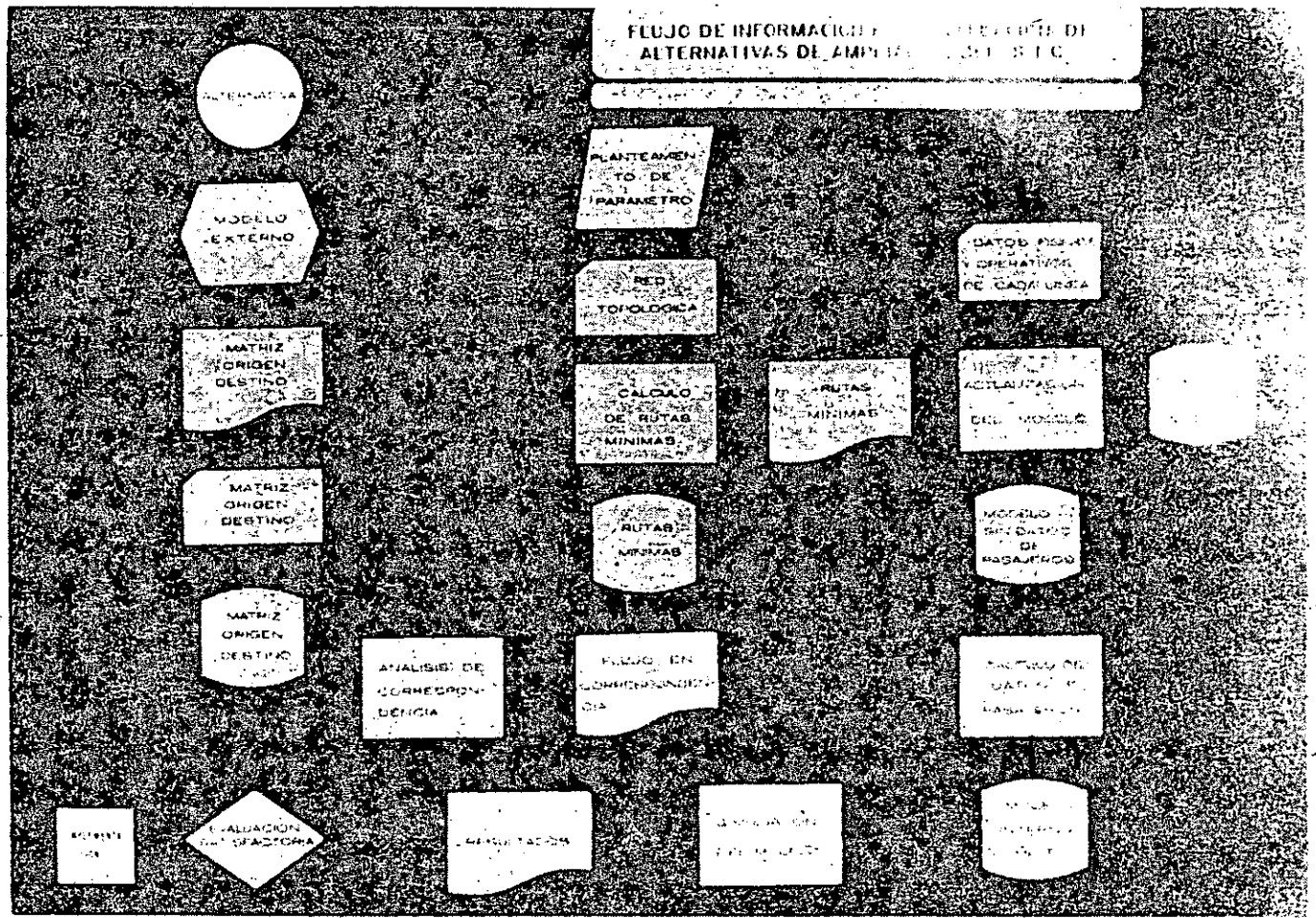


MODELO EXTERNO



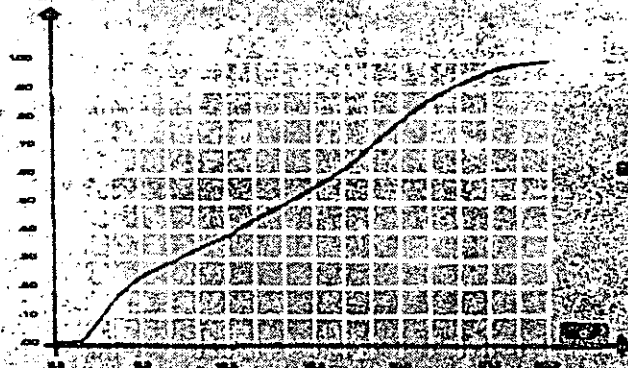
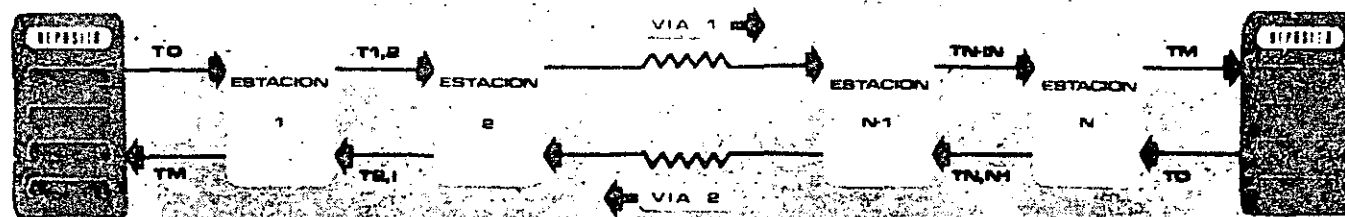
RUTA DE VIAJE: SIMULANDO UNA LINEA PROPUESTA

FLUJO DE INFORMACION Y SECUENCIA DE ALTERNATIVAS DE AMPEROS S.C.

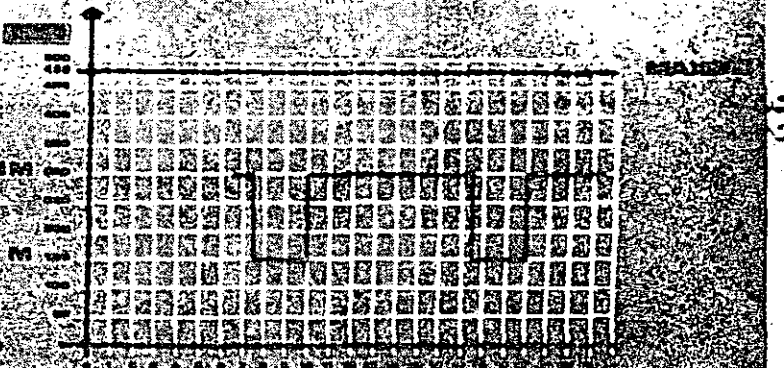


MODELO DE OPERACION INTERNA DEL METRO

ESQUEMA GENERAL E HIPOTESIS



FUNCION DE PROBABILIDAD ACUMULADA
DE ARRIBO DE PASAJEROS EN EL DIA



FUNCION DE INTERVALO DE SALIDA DE TRENES

HIPOTESIS

- INFLUENCIA DE OTRAS LINEAS ATRAVES DE ESTACIONES DE CORRESPONDENCIA
- DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE ARRIBO DE PASAJEROS EN EL DIA IGUAL PARA TODAS LAS ESTACIONES
- SI EL TREN SE LLENA, LOS PASAJEROS ESPERAN EL SIGUIENTE
- LOS PASAJEROS SIEMPRE RECORREN EL CAMINO MAS RAPIDO
- SE SIMULA DE LAS 8.30 A LAS 17.30 HORAS (17. HRS)

ALTERNATIVA

RESULTADOS MODELO EXTERNO TOTALES

LONGITUD / KM.

(OPERACION)

NUMERO DE
ESTACIONES

ESTACIONES DE
TRANSFERENCIA

PASAJEROS
CAPTADOS

PASAJEROS / KM.

OBRA CIVIL Y ELECTROMECANICA COSTO TOTAL (MILLONES EN PESOS)

INCREMENTO PASAJEROS / COSTO

PORCENTAJE DE INCREMENTO DE CAPTACION DE PASAJEROS

33

ALTERNATIVA

RESULTADOS MODELO INTERNO

TOTALES

NUMERO DE TRENES (operacion)

INTERVALO MINIMO

NUMERO DE PASAJEROS
TRANSPORTADOS

PASAJEROS TRANSPORTADOS
PASAJEROS CAPTADOS

PASAJEROS CAPTADOS
CARRO - KM.

PASAJEROS TRANSPORTADOS
CARRO - KM.

% OCUPACION MEDIA
DE TRENES

% TRENES COMPLETOS
EN EL DIA



ALTERNATIVA B

RESULTADOS MODELO EXTERNO

20 NOV 76

	L	I	N	E	A	S	TOTALES	
	1	2	3	4	5	6	7	
LONGITUD /KM. (OPERACION)	7.3	19.3	5.6	7.9	8.0	22.2	9.0	79.3
NUMERO DE ESTACIONES	11	24	8	8	8	22	9	90
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	4	3	3	1	1	5	1	9
PASAJEROS CAPTADOS	261,366	1,118,217	247,894	342,201	291,008	363,757	70,058	2,694,499
PASAJEROS /KM.	35,804	57,939	44,266	43,317	36,376	16,385	7,784	33,979
OBRA CIVIL Y ELECTROMECANICA COSTO TOTAL (MILLONES DE DOLARES)								1,782.8
INCREMENTO PASAJEROS /COSTO								222.8
PORCENTAJE DE INCREMENTO DE CAPTACION								

ALTERNATIVA

20 NOV 76

RESULTADOS MODELO INTERNO

	L	I	N	E	A	S	TOTALES	
	1	2	3	4	5	6	7	
NUMERO DE TRENES	18	42	12	8	12	21	7	120
INTERVALO MINIMO	150	145	230	415	255	400	600	
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	898.856	1448.704	568.651	595.026	490.541	1117.589	217.412	5.236.779
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	3.44	1.30	2.30	1.74	1.69	3.07	3.10	1.98
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRO - KM.</u>	4.9	8.7	9.3	15.1	9.0	5.7	3.1	7.7
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRO - KM.</u>	16.7	11.3	21.5	26.3	15.2	17.4	9.7	15.3
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	34	40	32	46	23	38	25	34
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	1	26	2	45	33	99	1	24

39

ALTERNATIVA



20 NOV 76

	L	I	N	E	A	S	EXTERNO
	1	2	3	4	5	6	TOTALES
LONGITUD /KM. (OPERACION)	15.5	21.4	14.9	7.7	12.9	11.2	83.6
NÚMERO DE ESTACIONES	19	25	16	12	19	14	105
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	4	4	3	3	4	3	19
PASAJEROS CAPTADOS	789,528	674,512	514,606	290,738	299,460	328,533	2,907,376
PASAJEROS /KM.	51,582	31,519	34,537	37,758	23,214	29,333	34,777
COSTO CIVIL Y MAQUINARIA (MILLONES DE PESOS)							2,867.0
INCREMENTO PASAJEROS /COSTO							324.2
PORCENTAJE DE INCREMENTO EN PASAJEROS							47

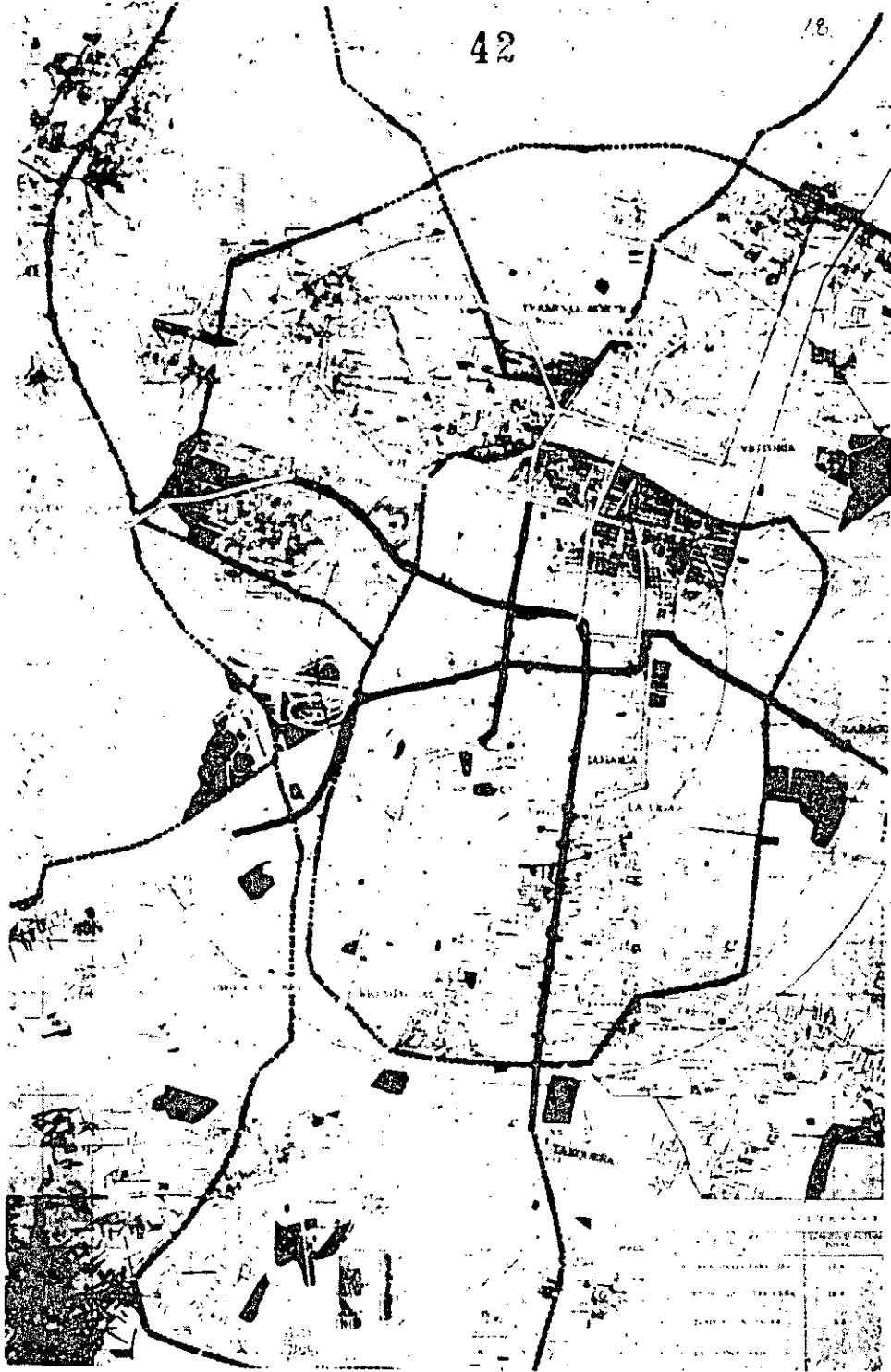
40

ALTERNATIVA

20 NOV 76

RESULTADOS MODELO INTERNO

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4	5	6	
NUMERO DE TRENES (operación)	32	38	21	7	22	11	131
INTERVALO MINIMO	1'50"	2'10"	2'50"	5'00"	2'55"	5'25"	
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1410,592	1003,710	854,230	491,953	835,243	575,375	5171103
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	1.78	1.49	1.66	1.69	2.78	1.75	1.77
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRIO - KM.</u>	8.1	5.9	8.4	14.1	5.8	11.4	7.8
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRIO - KM.</u>	14.3	8.8	13.9	23.9	16.2	19.9	13.8
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	4.8	3.4	3.6	5.6	5.0	4.3	4.4
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	85	27	30	69	47	51	48



ALTERNATIVA

20 NOV 78

RESULTADOS MODELO EXTERNO

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4	5	6	
LONGITUD /KM. (OPERACION)	155	214	128	78	136	89	80.0
NUMERO DE ESTACIONES	18	25	16	10	16	8	94
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	3	3	4	4	3	2	19
PASAJEROS CAPTADOS	863,858	688,389	699,106	173,230	155,837	220,547	2,798,967
PASAJEROS /KM.	55733	32168	54618	22209	11459	24781	34,867
COSTO TOTAL (MILLONES DE PESOS)							2,888.4
INCREMENTO PASAJEROS /COSTO							289.4
EFICIENCIA DE CAPTACION DE PASAJEROS							42

43

4

ALTERNATIVA **D**

20 NOV 76

RESULTADOS MODELO INTERNO

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4	5	6	
NUMERO DE TRENES (operación)	28	42	27	6	9	8	120
INTERVALO MINIMO	2'10"	1'55"	2'00"	6'30"	6'55"	4'15"	
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1297129	1113214	1004081	496093	379105	411753	4701375
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	1.50	1.62	1.44	2.86	2.43	1.87	1.68
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRO - KM.</u>	10.6	5.4	8.8	7.8	4.2	9.9	7.6
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRO - KM.</u>	15.9	8.7	12.7	22.3	10.1	18.6	12.8
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	49	33	45	62	36	27	42
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	97	10	8	62	8	17	34

TABLA COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS

	ALTERNATIVAS			
	A(7)	B(8)	C(13)	D(14)
LONGITUD (KM) (OPERACION)	70 6	79 3	83 6	80 0
NUM. ESTACIONES	86	90	105	94
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	8	9	10	9
COSTO (MILLONES DE PESOS)	2.437.4	3.202.0	2.867.0	2.860.4
PASAJEROS CAPTADOS	2.759.545	2.694.498	2.907.378	2.798.967
PASAJERO / KM.	39.067	33.979	34.777	34.987
INC. DE PASAJEROS / COSTO	323.5	222.8	324.2	289.4
% INC. CAPACITACION PASAJEROS	40	36	47	42
NUMERO DE TRENES EN OPERACION	125	120	131	120
NUMERO DE PASAJ. TRANSPORTADOS	6.187.773	5.336.779	5.171.103	4.701.375
PASAJEROS TRANS/PASAJ. CAPTADOS	2.24	1.98	1.77	1.68
PASAJ. CAPTADOS / CARRO KM.	8.4	7.7	7.8	7.6
PASAJ TRANS / CARRO KM.	18.9	15.3	13.8	12.8
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	38	34	44	42
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	18	24	46	34

42

31

ALTERNATIVA

D 234

1 SEPT. 75

**EXTERNO
TOTALES**

	L	I	N	E	A	S	
	1	2	3	4	5		
LONGITUD /KM. (OPERACION)	152	211	135	92			590
NUMERO DE ESTACIONES	19	25	16	10			70
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	3	3	2	2			5
PASAJEROS CAPTADOS	749.842	700.729	611.163	261.563			2.323.297 ⁴⁸
PASAJEROS /KM.	49.332	33.210	45.271	28.431			39.378
COSTO TOTAL							737.9
INCREMENTO PASAJEROS / COSTO TOTAL							281.7 ³⁴

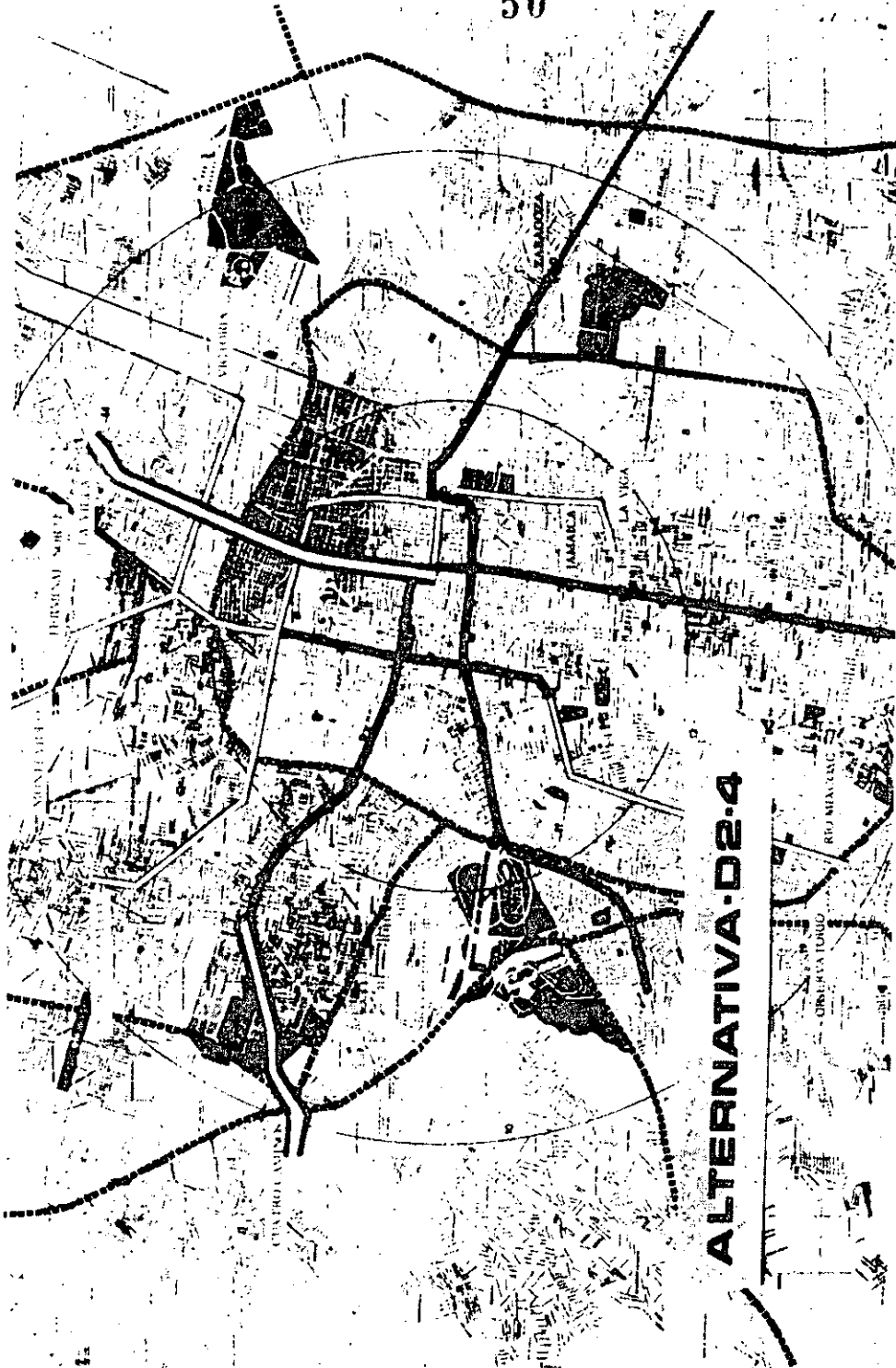
ALTERNATIVA D 234

PERIODO

1 SEP. 75)

	L I N E A S				TOTALES
	1	2	3	4	
NUMERO DE TRENES <small>(operaciones)</small>	31	38	24	6	99
INTERVALO MINIMO	1'55"	2'10"	2'25"	5'30"	
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1114 743	1226 592	798 439	443 372	3583 146
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	1 49	1 75	1 31	1 70	1 55
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRO K.M.</u>	8 05	6 2	9 4	11 0	7 8
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRO - K.M.</u>	12 0	10 9	12 3	18 7	12 2
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	39 0	30 6	44 8	60 6	41 1
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	31 1	26 8	13 0	51 0	27 1

49



ALTERNATIVA D2.4

MANILA
LA VILLA
LA VILLA

MANILA

MANILA

MANILA

MANILA

MANILA

MANILA

MANILA

MANILA

MANILA

ALTERNATIVA **D4** RESULTADOS MODELO EXTERNO

1 MAY. 75

L I N E A S TOTALES

	1	2	3	4	TOTALES
LONGITUD /KM. (OPERACION)	15.2	21.1	47	92	582
NUMERO DE ESTACIONES	19	25	7	10	51
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	3	3	2	2	3
PASAJEROS CAPTADOS	712.937	730.194	243.721	289.576	1.976.428
PASAJEROS /KM.	46.904	34.606	51.856	31.476	39.371

COSTO TOTAL 1.259.3

INCREMENTO PASAJEROS / COSTO TOTAL 204.7

PORCENTAJES DE INCREMENTO DE CAPTACION DE PASAJEROS 16

51

ALTERNATIVA

D 24

RESULTADOS MODELO INTERNO

1 MAYO 75

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4			
NUMERO DE TRENES (completa)	29	39	6	1			81
INTERVALO MINIMO	2'05"	2'05"	3'40"	4'50"			
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1 025 487	1 178 861	318 304	490 043			3 012 695
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	144	161	130	169			152
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRIO - KM.</u>	83	63	161	115			83
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRIO - KM.</u>	120	100	210	195			125
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	40.9	38.8	24.6	65.3			38.5
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	40.8	27.9	6.0	72.8			35.1

22

10. INDICE DE FIGURAS.

- Trazos factibles de futuras líneas del Metro
- Modelos de Simulación. Diagrama de Flujo de Información
- Modelo Interno. Diagrama de Flujo de Información
- Ruta de Viaje Simulando Condición Actual
- Ruta de Viaje Simulando Línea Propuesta
- Flujo de Información para Evaluación de Alternativas de Ampliación del S.T.C.
- Diagrama de Flujo del Modelo de Operación
- Modelo de Operación. Esquema general e hipótesis
- Tabla de Comparación de Resultados del Modelo Externo
- Tabla de Comparación de Resultados del Modelo Interno
- Alternativa A Mapa
- Alternativa A Resultados Modelo Externo
- Alternativa A Resultados Modelo Interno
- Alternativa B Resultados Modelo Externo
- Alternativa B Resultados Modelo Interno
- Alternativa C Resultados Modelo Externo
- Alternativa C Resultados Modelo Interno
- Alternativa D Mapa
- Alternativa D Resultados Modelo Externo
- Alternativa D Resultados Modelo Interno
- Tabla Comparativa de Alternativas
- Alternativa D23 Resultados Modelo Externo
- Alternativa D23 Resultados Modelo Interno

- Alternativa D234 Resultados Modelo Externo
- Alternativa D234 Resultados Modelo Interno
- Alternativa D24 Mapa
- Alternativa D24 Resultados Modelo Externo
- Alternativa D24 Resultados Modelo Interno

I N D I C E

1. ANTECEDENTES
2. POSIBLES ENFOQUES EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA
3. MODELO EXTERNO
4. MODELO INTERNO
5. IMPLEMENTACION EN COMPUTADOR
6. APLICACION DEL MODELO
7. CONCLUSIONES
8. BIBLIOGRAFIA
9. FIGURAS
10. INDICE DE FIGURAS

HIPOTESIS PRINCIPALES

(26)

- Inflación
- Variación de precios relativos
- Estimaciones de Costos e Ingresos (energía, salarios, ingresos)
- Vida útil = depreciación
- No se especifica el capital de trabajo
- Formas de presentación:
 - Precios corrientes
 - Precios constantes de año X

PRECIOS CONSTANTES DE 1983

(27)

- Deflator del PIB								
	76	77	78	79	80	81	82	83
	9.9	7.5	6.4	5.3	4.1	3.3	2.1	1.0
- Precios Corrientes								
- 200	0	100	100	100	100	100	100	-100
- Precios constantes de 1983								
-1980	0	640	530	410	330	210	-100	

FF = 40

EL TABLERO DEL FLUJO DE FONDOS

(28)

Tiene por objeto:

- Garantizar el equilibrio financiero
- Analizar el impacto de los factores inciertos
- Producir un documento síntesis preliminar de negociación

INDICADORES FINANCIEROS

- Sin actualización (valor temporal del dinero)
- Con actualización

INDICADORES FINANCIEROS SIN ACTUALIZACION

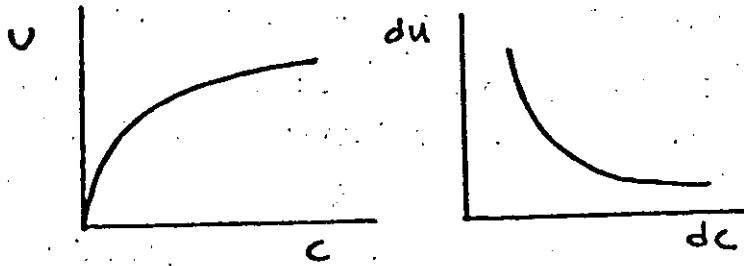
- Tiempo de recuperación de la Inversión

$$\sum Rt = \sum (It + Ct) , t = ?$$

- Rendimiento de la Inversión

$$r. i. = \frac{\sum (Rt - Ct)}{\sum It}$$

CONCEPTO DE ACTUALIZACION



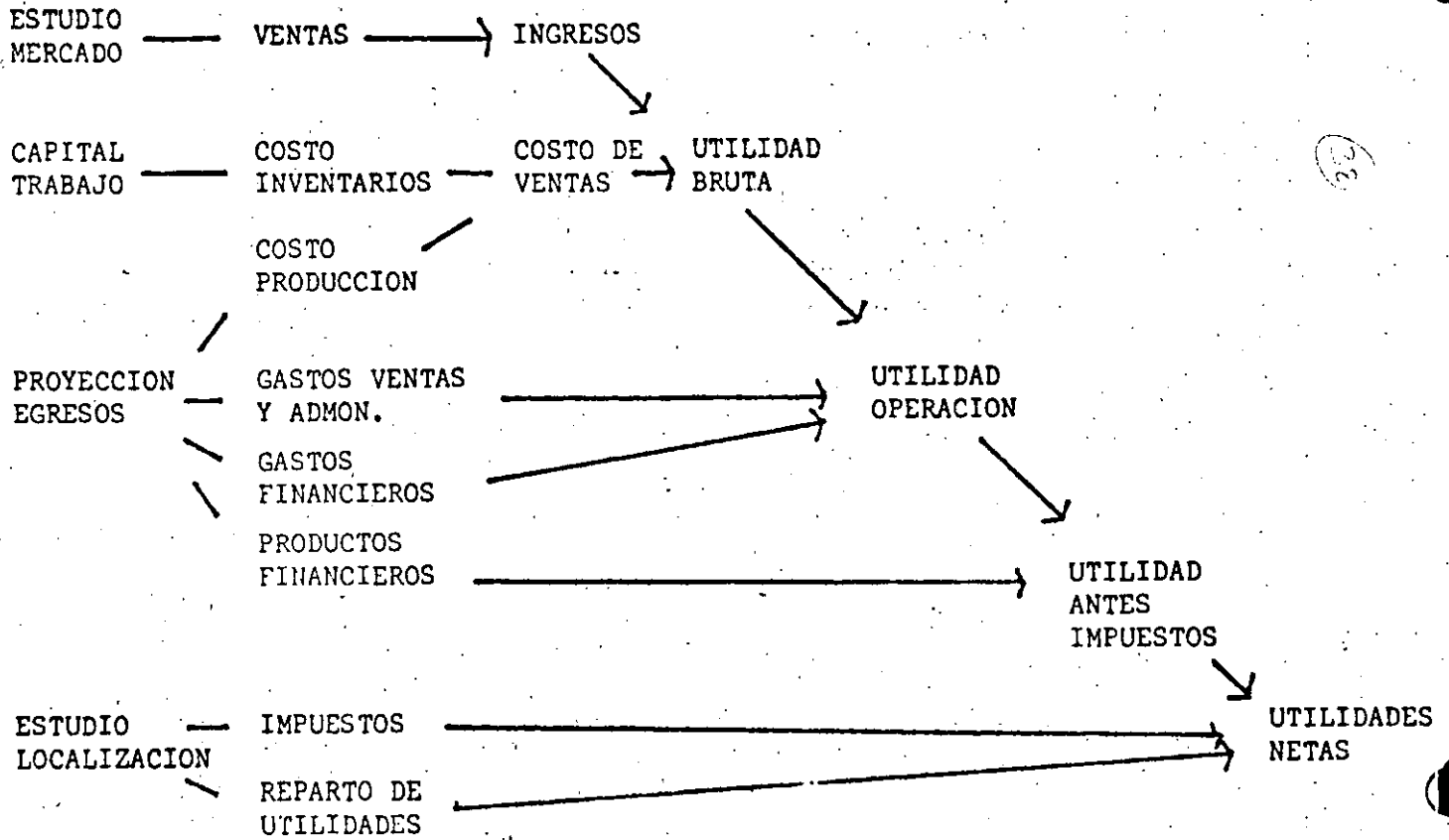
$$dU/dc = U'$$

$$U'(C_t) > U'(C_{t+1})$$

$$U'(C_t) = U'(C_{t+1}) \cdot k_t ; \begin{matrix} k_t > 1 \\ k_t = 1+i \end{matrix}$$

$$\therefore U'(C_{t+1}) = \frac{U'(C_t)}{(1+i)}$$

ESTADO PROFORMA DE RESULTADOS



BALANCE PROFORMA

ORIGEN DE RECURSOS

PASIVO circulante fijo

CAPITAL CONTABLE social utilidades

APLICACION DE RECURSOS

ACTIVO circulante fijo (depre. ac.) diferido

ANALISIS FINANCIERO (Resumen)

Flujo de fondos (simple) —> Análisis financiero detallado (complejo)

EVALUACION ECONOMICA

- Punto de vista de la sociedad
- La EE considera todos los efectos del sistema tanto en el uso de los insumos como en sus productos
- El equilibrio financiero puede pasar a segundo término si hay otras consideraciones

EVALUACION ECONOMICA

Enfoque se Sistemas:

- Agentes involucrados
- Efectos directos
- Efectos multiplicativos

Limites? Depende del evaluador

- Banco estatal
- Director del proyecto
- Organismo financiero internacional

METODOS DE E. E.

- Método de precios de referencia o
Método de precios de sombra o
Método de precios de cuenta
- Método de efectos

METODO DE PRECIOS DE REFERENCIA

- Usuales : ONUDI (Pautas para la evaluación de proyectos)
- OCDE (Estudio del costo, beneficio social)
- B. M. (Análisis económico de proyectos)
- BID (Los precios de cuenta en la evaluación de proyectos)
- Otros

La Teoría Económica Neoclásica establece que en condiciones de competencia perfecta, existe siempre un sistema de precios para factores y bienes que logra el equilibrio entre la oferta y la demanda. Este sistema de precios asegura la asignación óptima de los recursos en la sociedad.

JUSTIFICACION

Los países en Desarrollo presentan desequilibrios estructurales que no hacen factible la realización de un sistema de precios de equilibrio, luego, para asignar óptimamente los recursos, es necesario modificar los precios del mercado por otros precios llamados de referencia.

Precios de Referencia USUALES

- Mano de obra calificada y no calificada
- Energía
- Capital (tasa de actualización)
- Divisas
- Bienes importados

METODO DE EFECTOS

- Cálculo del Valor Agregado Neto
- Beneficios y Costos Directos
- Beneficios y Costos Indirectos
- Valor Agregado Neto

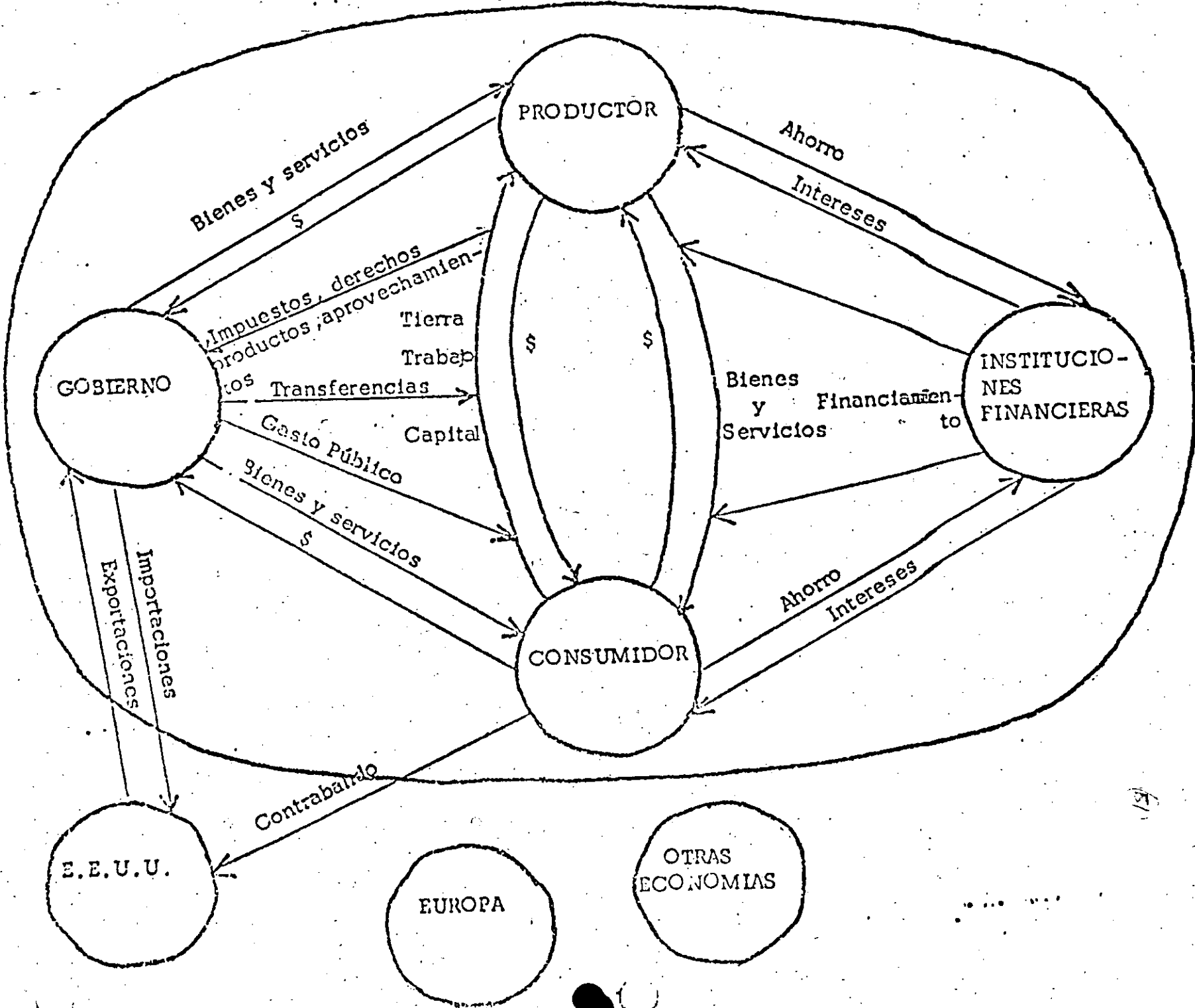
RESUMEN

- Para evaluar un sistema es necesario inicialmente identificar
 - Elementos fundamentales
 - Relaciones internas
 - Relaciones con el entorno
- Definir los objetivos y criterios de evaluación, en cuanto a:
 - Recursos
 - Productos
 - Funcionamiento del Sistema
 - Otros
- Definir y aplicar la/las funciones de EVALUACION, especificando
 - Indicadores
 - Preferencias
 - Reglas de decisión

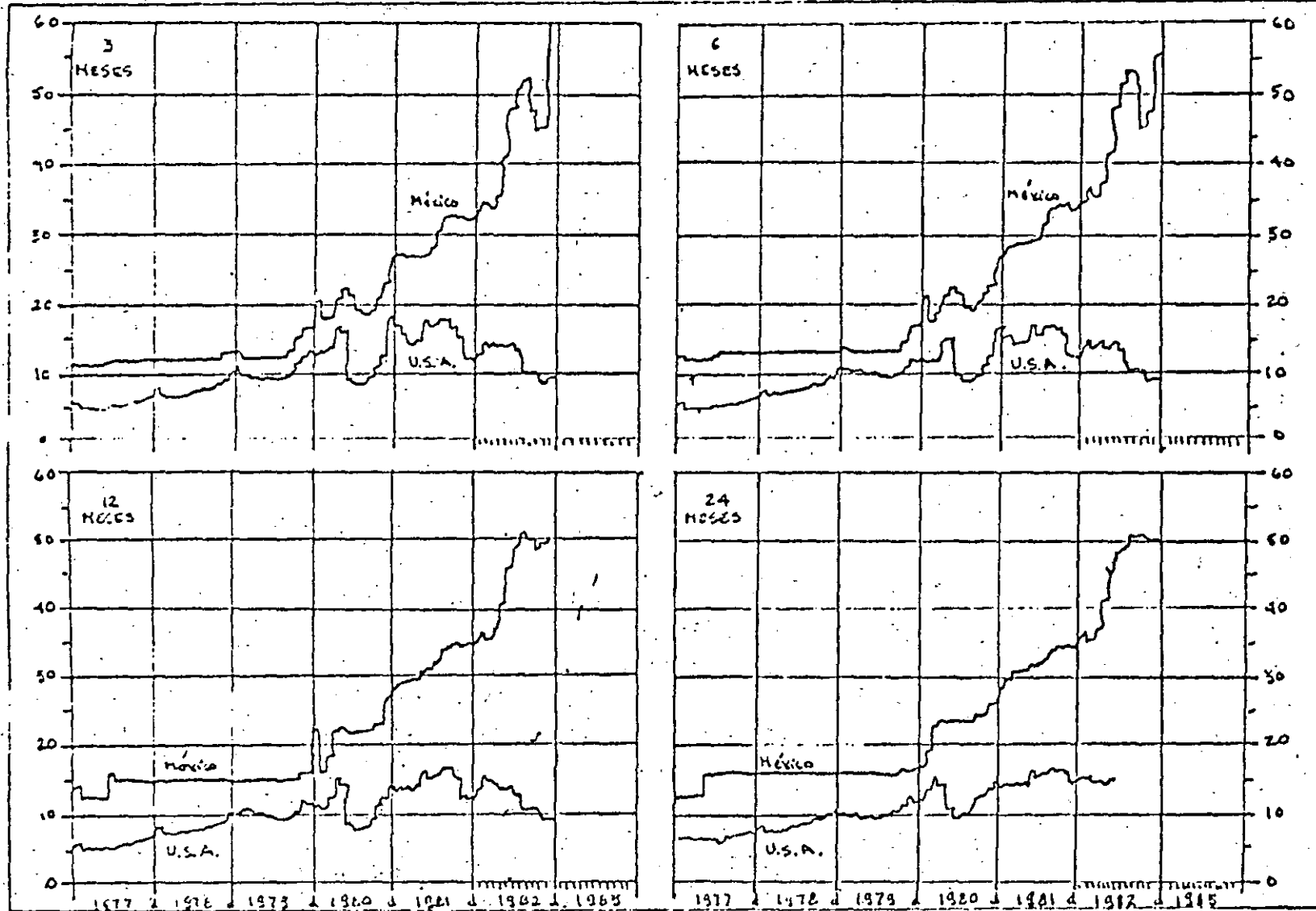
RESUMEN
(continuación)

50

- Toda evaluación es subjetiva en el sentido que los pasos anteriores dependen de quien la realice.

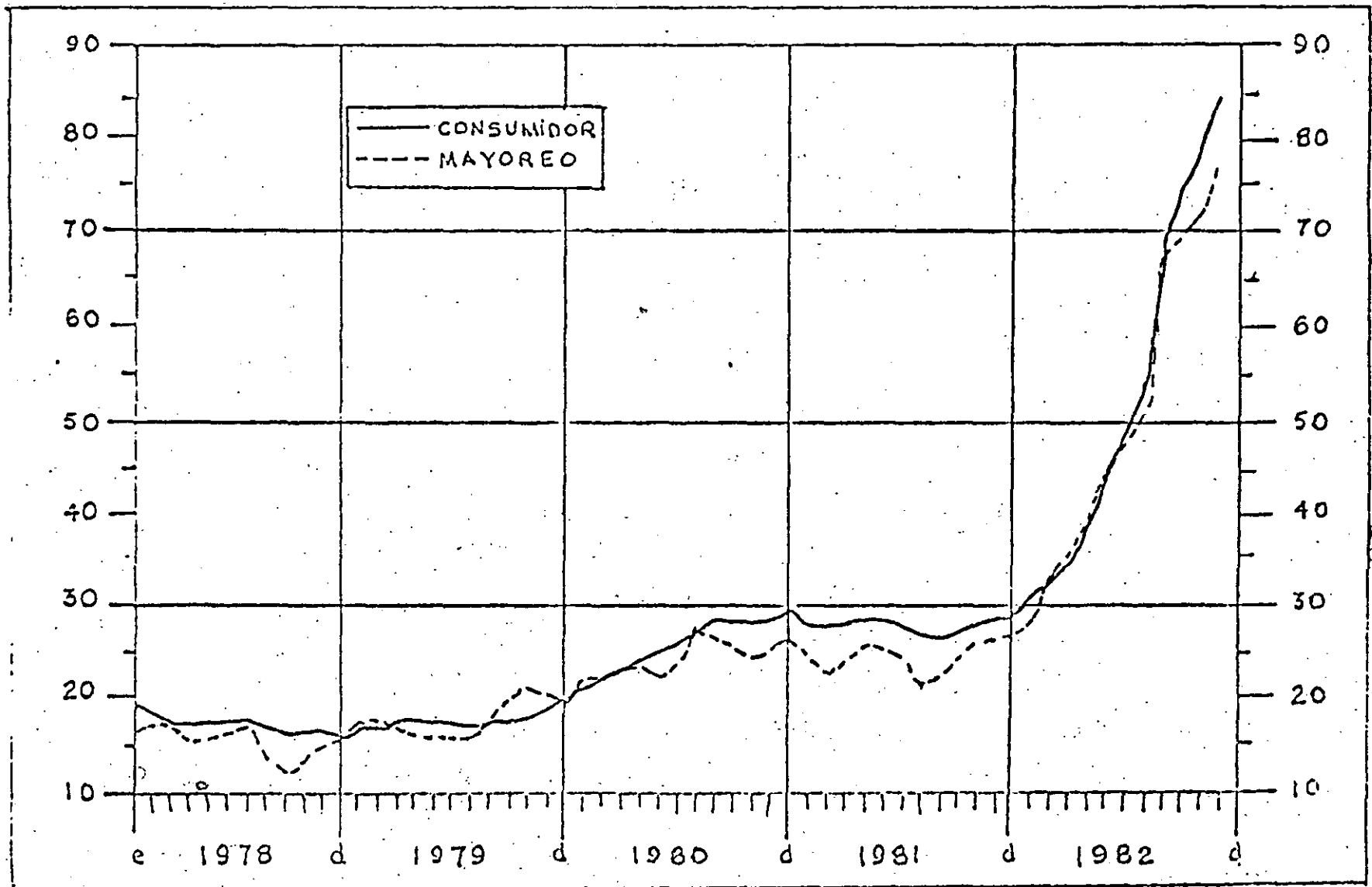


COMPARACION ENTRE LAS TASAS DE INTERES EN MEXICO Y E.U.A.
(Tasa de Interés anual)



PRECIOS AL CONSUMIDOR Y AL MAYOREO

(Variación porcentual respecto al mismo mes del año anterior)



FINANZAS DE ALGUNOS ORGANISMOS DESCENTRALIZADOS Y EMPRESAS PARAESTATALES

Enero - Agosto
(Miles de millones de pesos)

Concepto	Gastos Brutos		Ingresos propios		Saldo Bruto	
	1980	1981	1980	1981	1980	1981
TOTAL	540.0	921.6	291.1	395.2	-248 906	-526 369
Organismos	443.2	772.3	223.5	301.9	-219 689	-540 458
Pemex	191.7	339.6	103.0	132.1	- 88 709	-207 495
C F E	109.1	197.3	20.2	29.4	- 88 951	-167 979
Ferrocarriles Nacio- nales de México	18.9	28.0	8.2	10.1	- 10 775	- 17 919
Conasupo	47.4	97.1	23.9	34.6	- 23 536	- 62 508
I M S S	51.4	80.6	53.7	77.4	- 2 264	- 3 144
I S S T E	24.6	29.7	14.6	18.3	- 9 982	- 11 413
Empresas	42.7	68.3	27.0	36.9	- 15 688	- 31 374
Aeroméxico	5.5	7.2	5.2	6.7	-299	-559
Fertilizantes Mexica- nos, S.A.	17.7	36.9	8.7	10.5	- 8 998	- 26 366
Diesel Nacional	13.4	15.9	8.6	11.3	- 4 812	- 4 596
Siderúrgica Nacional	1.5	1.7	1.1	1.5	-394	-208
Constructora Nacional de carros de ferroca- rril	4.7	6.5	3.5	6.9	- 1 185	355

Fuente: Elaborado con datos de la Sría. de Programación y presupuesto.

Notas: 1.- Incluye 27 entidades bajo control presupuestal.

2.- Excluye subsidios y financiamiento.

3.- Millones de pesos (-) Déficit (+) Superavit.

Fecha: 22-XII-82.

BIBLIOGRAFIA BASICA PARA EVALUACION SOCIAL DE PROYECTOS

(55)

NACIONES UNIDAS / CEPAL

"Manual de Proyectos de Desarrollo Económico", Santiago de Chile, 1958.

FARBERGER, A.C.,

"Evaluación de Proyectos", Instituto de Estudios Fiscales, Madrid, 1965.

FONTAINE, E.

"Evaluación Social de Proyectos", Universidad Católica. Instituto de Economía, Santiago de Chile, 1975.

LAYARD, R. (ed)

"Análisis Costo - Beneficio", F.C.E., Lecturas No. 23, México 1979.

LITTLE, I.M.D. y MIRLEES, J.A.

"Estudio Social del Costo - beneficio en la Industria de países en desarrollo", CEMLA, México 1973.

LITTLE, I.M.P. y MIRLEES, J.A.,

"Project appraisal and planning for developing countries", Basic Book Publ., New York, 1974.

SQUIRE, L. y van der TAK, H.G.,

"Análisis Económico de Proyectos", Ed. Tecnos, Madrid, 1977.

POWERS, Terry (ed)

"El cálculo de los precios de cuenta en la evaluación de proyectos", BID, Washington, D.C., 1981.

(56)

ONUDI

"Pautas para la evaluación de Proyectos" -
Naciones Unidas, New York, 1972.

ONUDI

"Guía para la evaluación práctica de proyec-
tos", Naciones Unidas, New York, 1978.

ONUDI

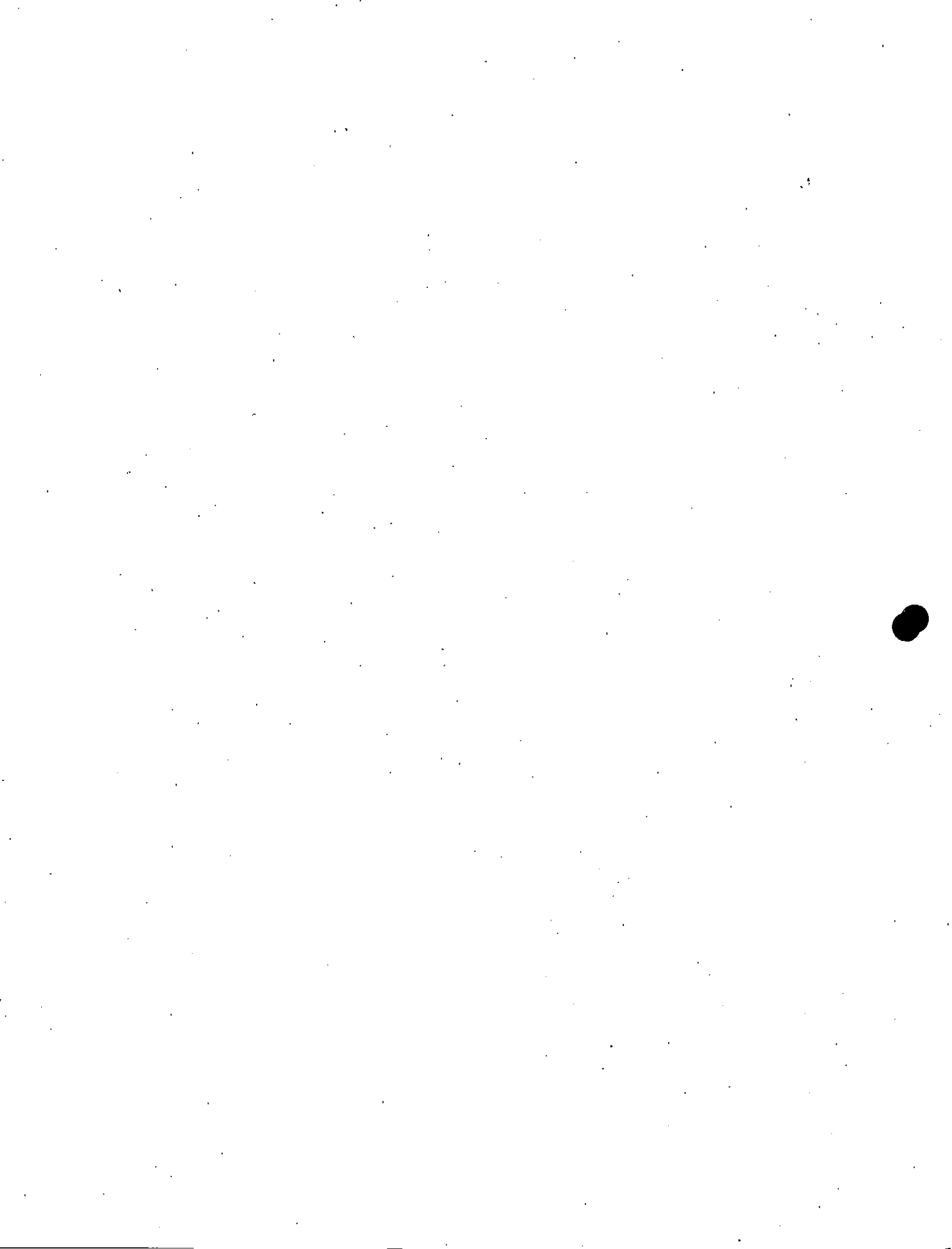
"Manual for evaluation of industrial pro-
jects", Naciones Unidas, New York, 1980.

PROU, Ch y CHERVEL, M.

"L'étude des groupes de projets", Etablissem-
ent des programmes en économie sous - dévelo-
pée, tomo 3, Dunod, Paris, 1970.

CHERVEL, M.

"Evaluación de proyectos en países en desarro-
llo por el método de los efectos". Industria
lización y productividad, Boletín No. 20, Na-
ciones Unidas, New York, 1974.





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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

PROGRAMACION EN REDES DE FLUJO

DR. SERGIO FUENTES MAYA

NOVIEMBRE, 1984

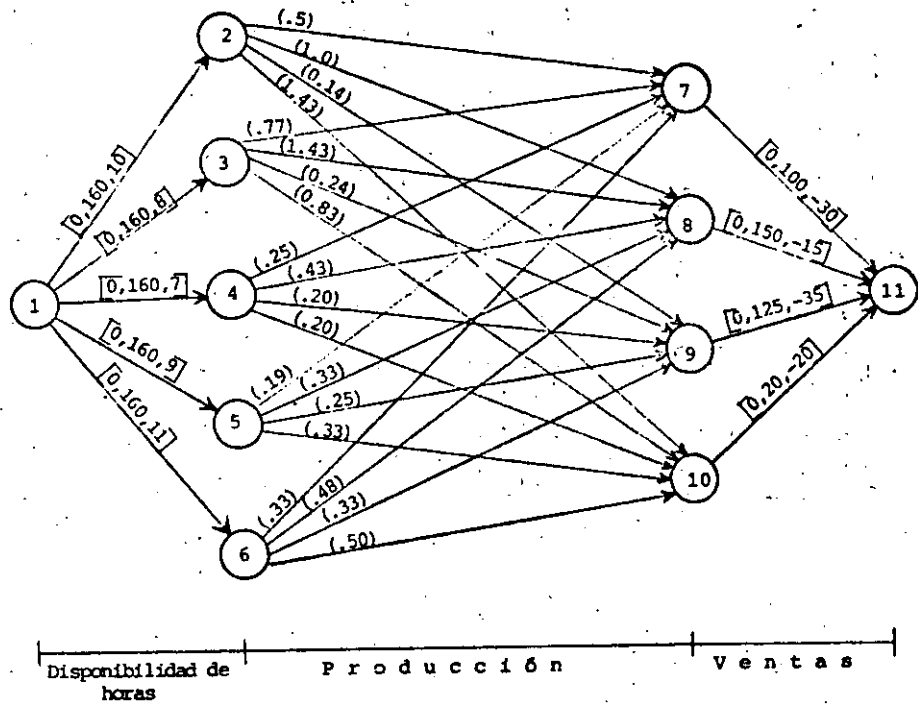


Fig. 1 Red que representa la problemática descrita.

(flujo)

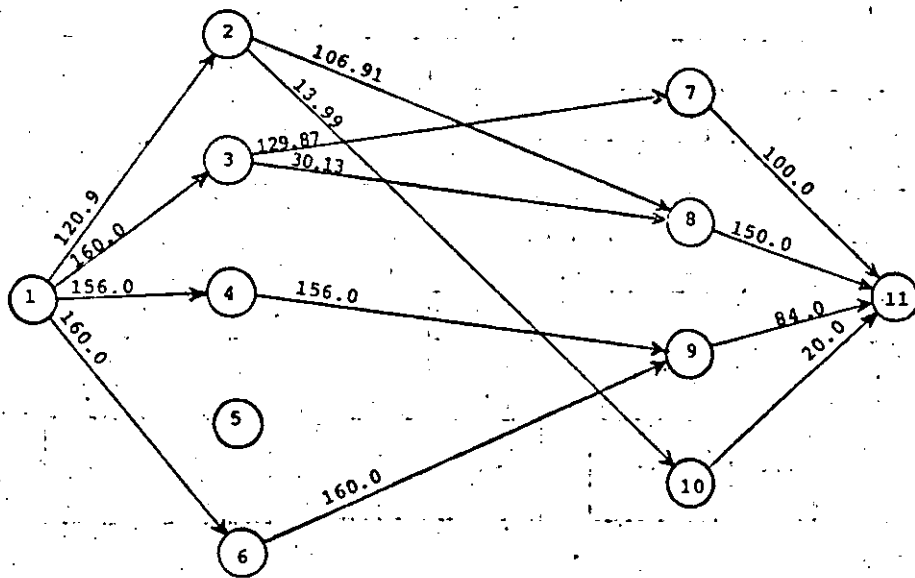


Fig. 2 Flujo óptimo en la red.

2. Considere el siguiente problema de PRODUCCION-TRANSPORTE-
INVENTARIO. Una compañía fabrica un sólo producto en sus dos
plantas (1 y 2), cada una de ellas con dos períodos de produc-
ción. En dichas plantas, los costos unitarios de producción y
los límites de producción varían para cada período y son:

Planta	Costo en el período (pesos/pród)		Límites de producción en el período	
	1	2	1	2
1	25	35	6	2
2	30	42	10	9

El producto es transportado (inmediatamente) a cada uno de los
dos centros de consumo existentes, para satisfacer las demandas
de los períodos uno y dos, cuyo valor es:

Centro de consumo	Período	
	1	2
1	3	1
2	5	4

El costo de transporte (en pesos) en cada período es:

Planta.	Período 1		Período 2	
	Centro de consumo		Centro de consumo	
	1	2	1	2
1	50	60	60	80
2	40	70	70	90

Por otra parte, el producto puede ser almacenado tanto en las
plantas como en los centros de consumo. En la planta 1 y 2, los
costos de almacenamiento son uno y dos pesos, y los límites de
almacenamiento son dos y tres, respectivamente. En los centros
de consumo 1 y 2, los costos de almacenamiento son tres y cua-
tro, y los límites de almacenamiento son uno y tres, respecti-
vamente.

Se desea determinar el plan de producción-transporte-inventario
que minimice el costo total y satisfaga la demanda.

Proporcione la red de flujo que representa el problema.

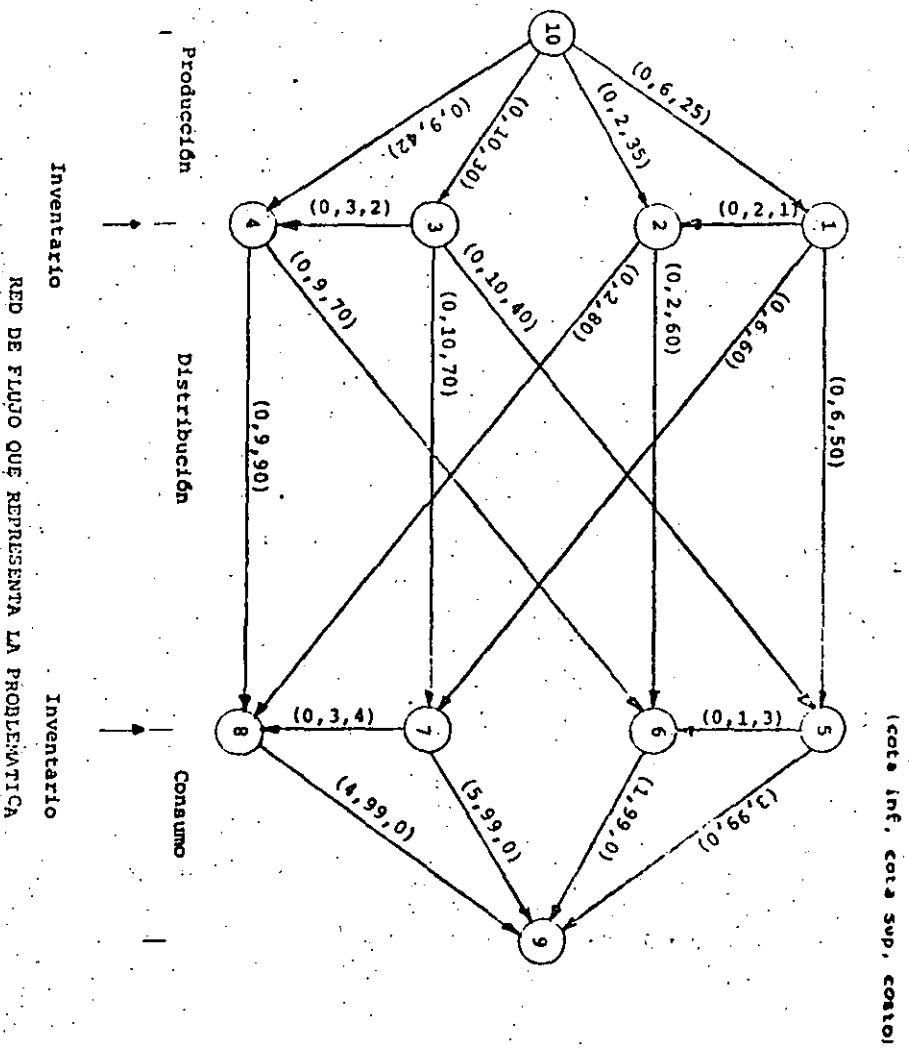
23

3. Una compañía produce sillas y dispone de cuatro plantas. El costo de producción y los niveles máximos y mínimos de producción mensual en cada planta son:

Planta	Costo (\$/silla)	Prod. máxima	Prod. mínima
1	50	500	0
2	70	750	400
3	30	1000	500
4	40	250	250

Cada silla requiere de 10 kilos de madera y existen dos vendedores (A y B) que pueden surtir cualquier cantidad de madera. A cambio, la compañía garantiza comprar al menos 8 000 kilos de madera por mes a cada vendedor. El costo de la madera es de 2 pesos por kilo para el vendedor A y 1.50 pesos por kilo para el vendedor B. Los costos de envío de madera de cada vendedor a las plantas (en pesos/kilo) es:

Vendedor	Planta			
	1	2	3	4
A	0.20	0.4	0.6	0.8
B	0.80	0.6	0.4	0.4



RED DE FLUJO QUE REPRESENTA LA PROBLEMÁTICA

Las sillas pueden ser vendidas en cuatro ciudades diferentes (C1, C2, C3 y C4) y los costos de transporte (en pesos/silla) de las plantas a los estados son:

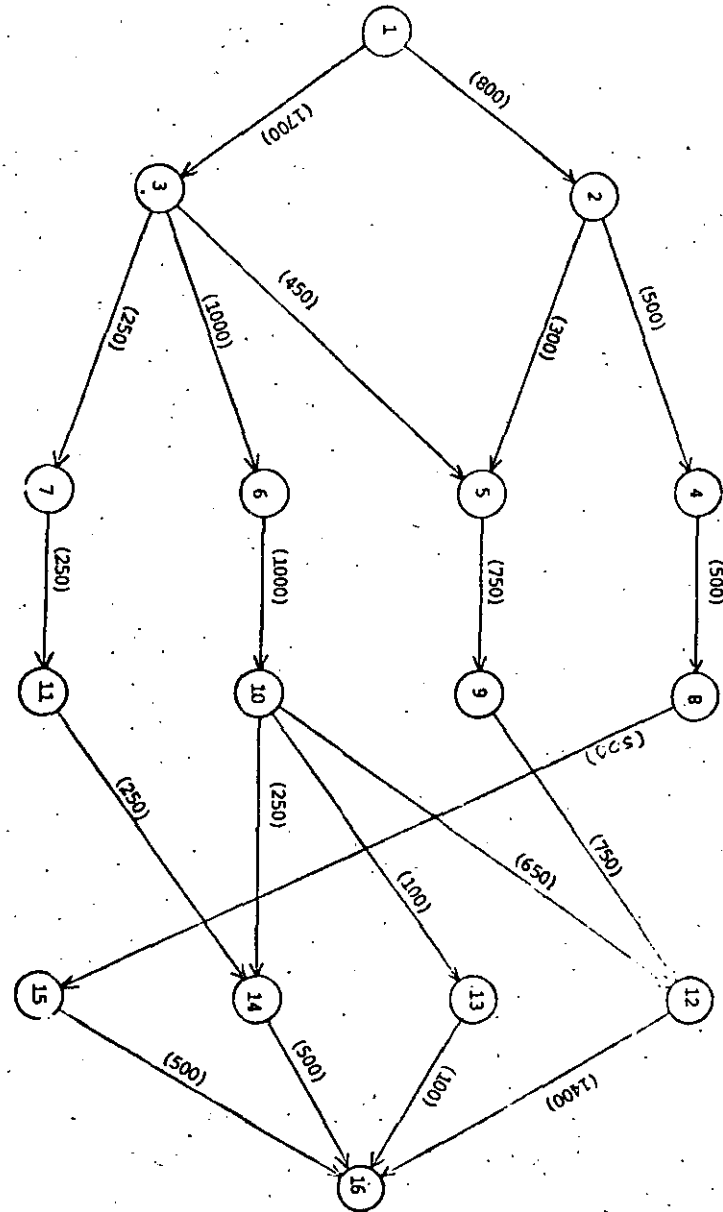
Planta	C i u d a d			
	C1	C2	C3	C4
1	10	10	20	0
2	30	60	70	30
3	30	10	50	30
4	80	20	10	40

Finalmente la demanda mínima y máxima mensual de sillas y el precio de venta en cada ciudad es

Ciudad	Precio venta (pesos)	Demanda	
		máxima	mínima
1	200	2000	500
2	150	400	100
3	200	1500	500
4	180	1500	500

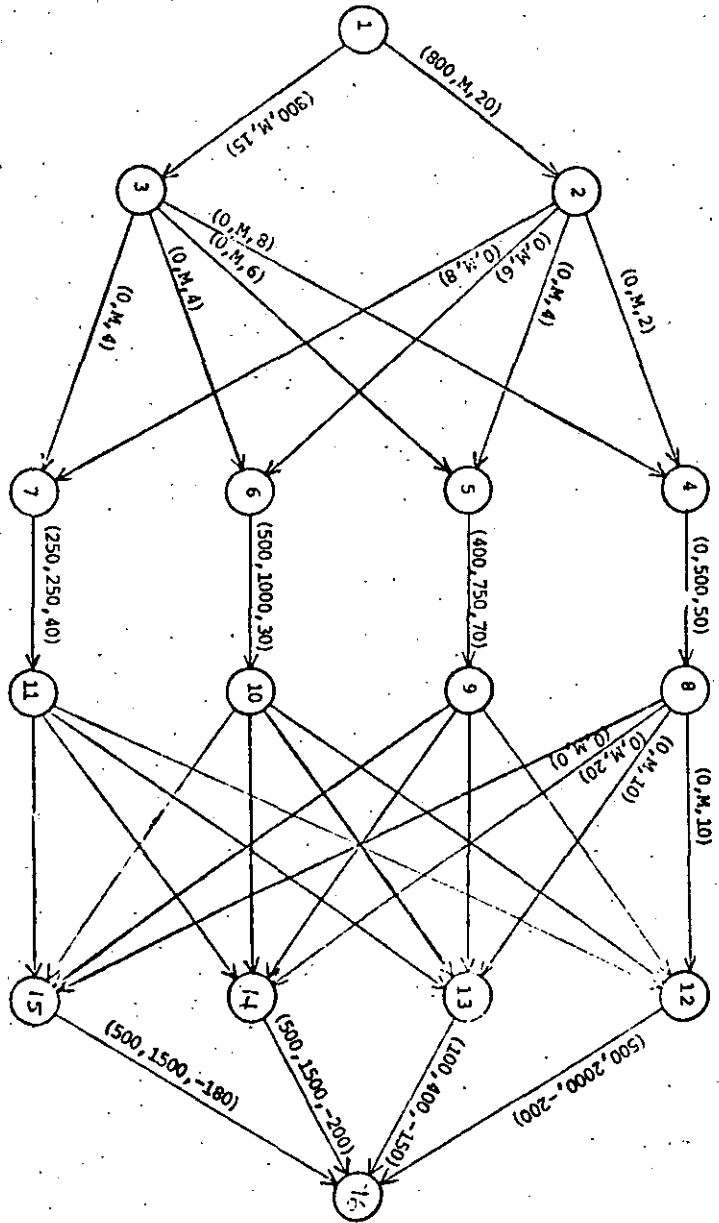
Se desea establecer el plan de compra de madera, así como la producción y distribución de sillas de manera de maximizar ganancias.

FIG. 2 SOLUCION OPTIMA EN LA RED DE FLUJOS.



5
2
(1110)

compra a madera | envío a plantas | Producción | envío a distribuidora | ventas
 RED DE FLUJO QUE REPRESENTA LA PROBLEMÁTICA



(C.M. Inf., Cota sup., Costo)

4. La compañía Luz y Poder desea establecer su programa global de producción de energía para los próximos cinco años. Dicho programa consiste de las siguientes actividades.
 - a. Extracción de material carbonífero
 - b. Transporte del material a las refinerías
 - c. Purificación del material en las refinerías
 - d. Transporte a las estaciones generadoras
 - e. Generación de energía mediante combustión.

La compañía tiene dos estaciones de generación de energía eléctrica A y B cuyas demandas globales para los próximos cinco años son 108.5 y 85 unidades de energía, respectivamente. La compañía desea satisfacer tales demandas a costo mínimo.

La compañía tiene dos minas (C1 y C2) de donde extrae el material carbonífero. Las cantidades de material carbonífero, existentes y el costo marginal de extracción de ese material se muestra en la figura 1.

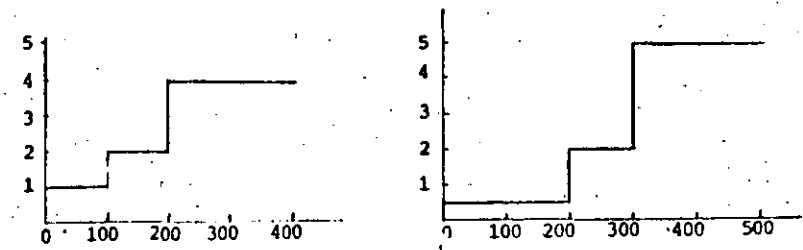


Fig. 1. Costos marginales de extracción de material.

El material extraído de las minas C1 y C2 es procesado para enriquecer su contenido de carbono en las refinerías R1 y R2 cuyas distancias (en km) a las minas es

M i n a	Refinería	
	R1	R2
1	10	20
2	8	7

y el costo de transporte es de 0.1 pesos por unidad de material carbonífero y por kilómetro. En la refinería R1, dos unidades de material carbonífero producen una unidad de material refinado y la capacidad anual de refinación es de 50 unidades de material carbonífero. La refinería R2 obtiene una unidad de material refinado por cada tres unidades de material carbonífero y su capacidad anual es de 75 unidades de material carbonífero. Los costos de refinamiento en ambas plantas es el mismo e igual a 1 peso por unidad de material carbonífero.

El material refinado es enviado a alguna de las estaciones de generación A ó B, en donde es quemado para producir energía eléctrica. Dichas estaciones usan el mismo proceso de combustión y sólo difieren en capacidad anual y costo de producción como se indica:

Estación	Costo (\$/u.e.g.)	Capacidad anual(u.e.g)
A	1.50	10
B	1.75	30

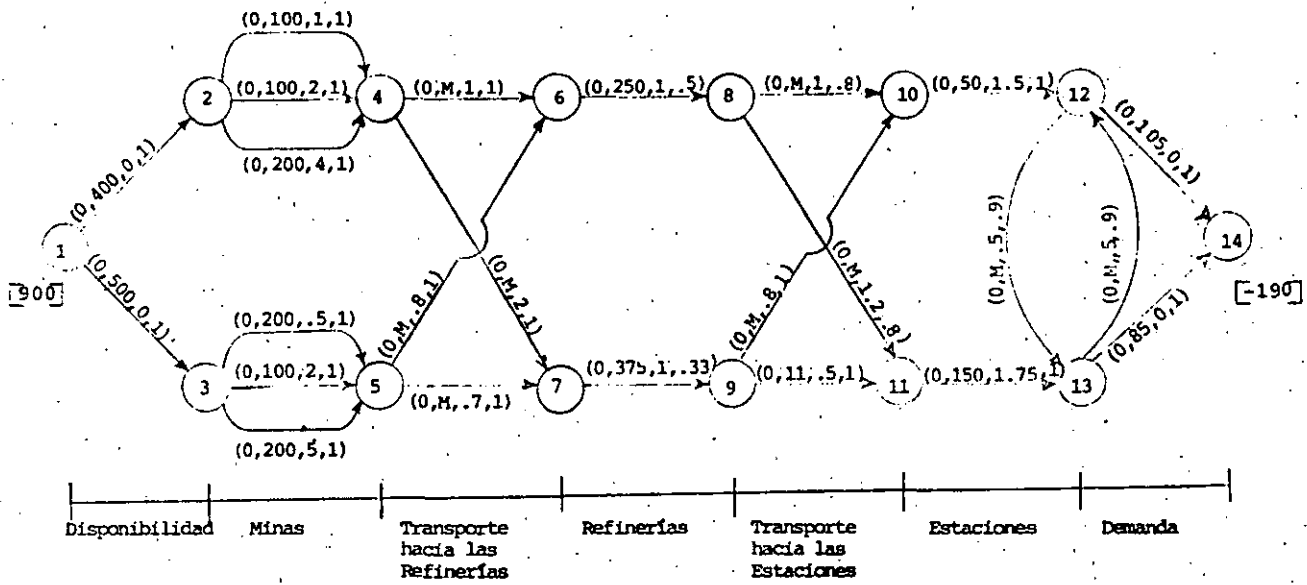
(u.e.g. = unidad de energía generada)

Conviene señalar que el material refinado que proviene de la refinería R1 es más puro y produce una unidad de energía por 0.8 de unidad de material refinado, mientras que sólo una unidad de energía es producido por cada unidad de material refinado que proviene de R2. El costo de transporte de las refinerías a las estaciones generadoras es de 0.1 pesos por cada unidad de material refinado y por cada kilómetro. Las distancias entre refinerías y estaciones (en km) son:

Refinería	Estación generadora	
	A	B
R1	10	12
R2	8	5

Finalmente mencionaremos que existe una línea de transmisión de energía que conecta ambas estaciones generadoras y puede servir para enviar energía a un costo de 0.50 pesos por unidad de energía transmitida y con una pérdida de energía de 0.10%.

- Formule este problema como uno de programación lineal.
- Dibuje la red de flujo que representa a este problema.



Los parámetros de arcos y nodos son representados por : (cota inf., cota sup., costo, ganancia), [Flujo externo]

Fig. 1 Red de flujo que representa el problema.

5

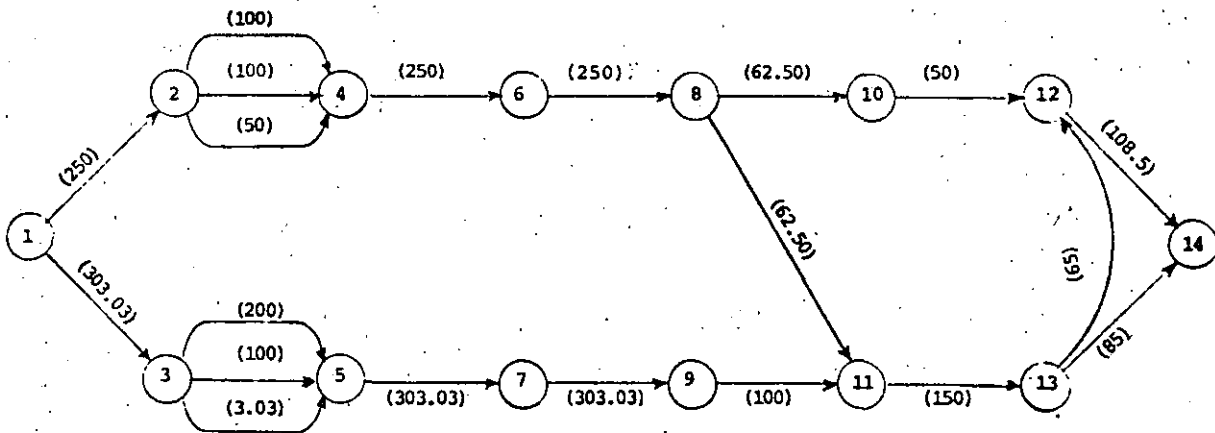


FIG. 2 SOLUCION OPTIMA DE LA RED DE FLUJO (flujo)

5. Considere un sistema de aprovechamientos hidráulicos consistente de cuatro vasos, cinco canales, un punto de unión y dos ríos (ver fig. 1). Por conveniencia en la figura que representa la geometría del sistema se muestran las capacidades mínimas y máximas de cada arco así como el costo unitario por paso de flujo (i.e., bombeo de agua). También se muestran arcos adicionales que representan los flujos de agua que entran al sistema (escurrimientos y agua importada). Dichos arcos parten de un solo nodo llamado nodo fuente y existe otro nodo, llamado sumidero, al que llegan todos los arcos asociados con salidas de agua del sistema. Las unidades de capacidad de flujo están en miles de metros cúbicos y los costos en miles de pesos por unidades de flujo. Las capacidades de vasos y parámetros asociados con los canales del sistema se muestran en la tabla 1.

Suponga que se desea determinar la política de operación-distribución a costo mínimo del sistema para los siguientes tres periodos (cada uno consistente de cuatro meses). Los almacenamientos iniciales en cada vaso, así como los escurrimientos y demandas en cada periodo se muestran en las tablas 3-5, respectivamente.

Estrategia de solución

Con el propósito de determinar la política de operación-distribución del sistema en cada periodo, lo natural es construir

una red consistente de tres replicas del sistema original que se conectan entre sí por medio de los llamados arcos de almacenamiento, esto es, arcos que unen un mismo vaso en periodos consecutivos. En cada periodo se especifican tanto los escurrimientos como las demandas del sistema por medio de arcos con parámetros de capacidad y costo adecuados. Una idea de la red que resulta se muestra en la figura 2.

Resultados

La red multiperiodica del sistema de aprovechamientos ha sido resuelta y la solución óptima es como sigue: Los flujos de agua transportados periodicamente (cada cuatro meses) en cada uno de los canales se muestra en la tabla 5. En dicha tabla se observa que los canales C-A y C-D no son usados en el transcurso del año; los canales A-B y B-D solo se usan durante el primer periodo y todos los canales nunca son usados a su capacidad máxima. En relación a las políticas de almacenamiento en cada vaso (tabla 6) se observa que los vasos A y E no operan en todo el año y el vaso C solo almacena agua en el primer periodo. Finalmente, es necesario importar agua (o tener déficits) en cada periodo de acuerdo a como se indica en la tabla 7.

Tabla 1. Capacidades de almacenamiento en vasos.

Vasos	A	B	C	E
miles de m ³	50	50	30	60

Canal	A-B	C-A	C-D	B-D	D-E
Capacidad	50	40	50	30	25
Costo	5	5	10	5	5

Tabla 2. Almacenamiento Inicial

Vasos	A	B	C	E
miles de m ³	2	10	10	20

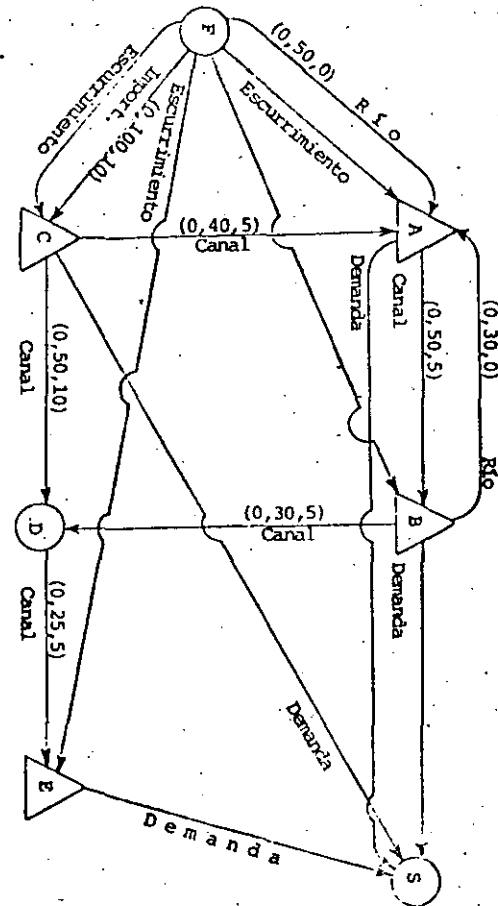
Tabla 3. E s c u r r i m i e n t o s (en miles de m³)

Vasos	A	B	C	E
Período 1	80	90	30	20
Período 2	10	3	2	15
Período 3	10	10	5	8

Tabla 4. D e m a n d a s (en miles de m³)

Vasos	A	B	C	E
Período 1	100	80	30	45
Período 2	25	12	42	25
Período 3	20	13	51	22

FIG. 1 SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA.



(cap. mín., cap. max., costo)

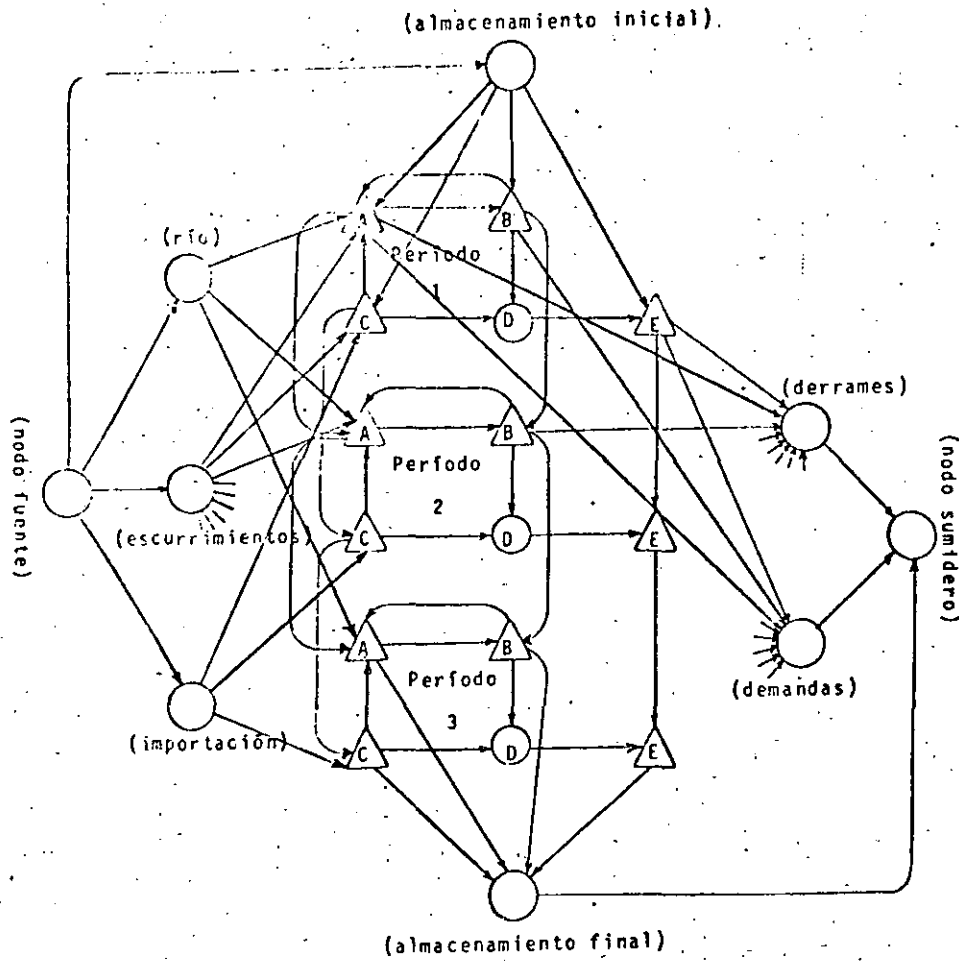


FIG. 2 SISTEMA DE DISTRIBUCION MULTIPERIODICA

Tabla 5. Política Óptima de transporte por canales.

Canal	A-B	C-A	C-D	B-D	D-E
Periodo 1	21	0	0	5	5
Periodo 2	0	0	0	0	10
Periodo 3	0	0	0	0	14

Tabla 6. Política de operación Óptima de almacenaje en vasos.

Vasos	A	B	C	E
Periodo 1	0	36	30	0
Periodo 2	0	17	0	0
Periodo 3	0	0	0	0

Tabla 7. Política Óptima de importación de agua en el vaso C.

Periodos	1	2	3
miles de m ³	20	10	46

6. (Costos convexos) Considere una planta cuya capacidad de producción es igual a treinta unidades y costo unitario diez unidades monetarias. La planta dispone de dos distribuidoras A y B. El precio de venta del producto en A es igual a 15 unidades monetarias si existe demanda. La cantidad demandada es una variable aleatoria x_A con distribución de probabilidad dada por

$$P_A(x_A) = \begin{cases} 0.1 & 10 \leq x_A \leq 20 \\ 0 & \text{Otros} \end{cases}$$

El precio de venta del producto en B es igual a 14 unidades monetarias y la demanda x_B es dada de acuerdo a una función de distribución de la forma

$$P_B(x_B) = \begin{cases} 0.05x_B & 0 \leq x_B \leq 20 \\ 0.0 & \text{Otros} \end{cases}$$

Cualquier cantidad de producto enviado a las distribuidoras A y B que no es vendido se pierde. Si desea determinar la producción y el número de productos a enviar a cada distribuidora, de manera de maximizar el valor esperado de las ganancias.

La ganancia obtenida en A depende tanto de la cantidad que se envía f_A como la demanda x_A y es dada por

$$g_A(f_A, x_A) = \begin{cases} 15 x_A & x_A \leq f_A \\ 15 f_A & x_A > f_A \end{cases}$$

cuyo valor esperado $g_A(x_A) = E[g_A(f_A, x_A)]$ es

$$g_A(f_A) = \begin{cases} 15 f_A & 0 \leq f_A < 10 \\ -.75f_A^2 + 30f_A - 75 & 10 \leq f_A \leq 20 \\ 225 & 20 < f_A \end{cases}$$

Un análisis similar demuestra que $g_B(x_B)$ es

$$g_B(f_B) = \begin{cases} -.0117f_B^3 + 14 f_B & 0 \leq f_B \leq 20 \\ 186.4 & 20 < f_B \end{cases}$$

Observe que las funciones de valor esperado de la ganancia son concavas y que el problema consiste en

$$\max z = -10f_P + g_A(f_A) + g_B(f_B)$$

$$f_P - f_A - f_B = 0$$

$$0 \leq f_P \leq 30 \quad ; \quad 0 \leq f_A \leq 30 \quad ; \quad ; \quad 0 \leq f_B \leq 30$$

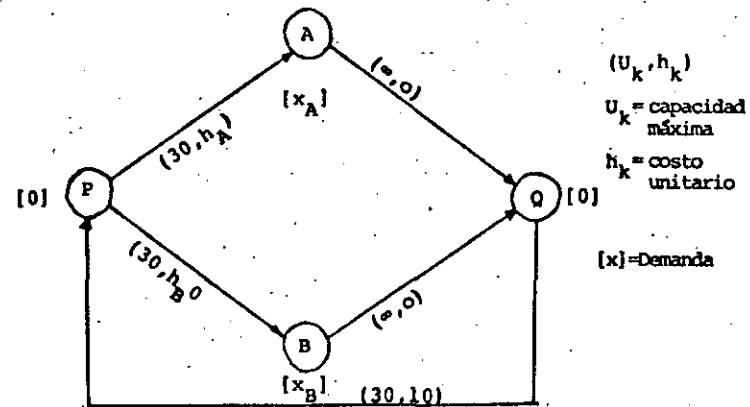
donde f_P representa el número de unidades producidas. Sin embargo, considerando que el negativo de una función concava es convexa podemos plantear el problema anterior como uno de

12

12

redes con costos convexos como se muestra en la figura, en donde $h_P(f_P) = 10f_P$, $h_A(f_A) = -g_A(x_A)$ y $h_B(f_B) = -g_B(x_B)$.

El aspecto importante de esta formulación es que podemos resolver un problema estocástico en redes por medio de un problema de redes con costos convexos.



En la red se muestra la formulación del problema indicando las capacidades máximas permitidas en cada arco y el costo (o función de costos) debido al flujo que circule. Observe que en cada nodo el flujo que entra es igual al flujo que sale.

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -7 & -13 & -19 & -25 & -31 \\ 0 & 0 & 2 & -4 & -10 & -16 & -22 & -28 \\ 0 & 0 & 5 & -1 & -7 & -13 & -18 & -25 \\ 0 & 0 & 8 & 2 & -4 & -10 & -15 & -22 \\ 22 & 18 & 12 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 30 & 24 & 18 & 12 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 24 & 18 & 12 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 30 & 24 & 18 & 12 & 6 & 0 \end{bmatrix}$$

De donde los beneficios netos esperados en el trimestre son dados por el vector q cuyos valores son

$$q^t = [-16.0, -13.0, -9.9, -6.9, 14, 15, 15, 15]$$

Para finalizar este ejemplo conviene señalar que q sólo representa beneficios netos esperados del primer trimestre, asociados con cada nivel inicial de inventario. Asimismo, puesto que cada vector hilera de P especifica las probabilidades de tener un nivel de inventario final $0, 1, \dots, 7$, podemos observar que cada componente del vector Pq representa el valor esperado de los beneficios netos durante el segundo trimestre. De manera semejante cada componente del vector P^2q representa el valor esperado de los beneficios netos durante el tercer trimestre y en general cada componente de P^nq representa el valor esperado de los beneficios netos durante el trimestre n . Por lo tanto el valor esperado total actual asociado con cada estado es dado por

$$VTP = q + \beta Pq + \beta^2 P^2q + \beta^3 P^3q + \dots$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} (\beta P)^i q$$

donde β es un factor de descuento que nos permite actualizar (esto es, poner en valor presente) cada peso al final del primer semestre y β^n actualiza cada peso al final del trimestre n . Conviene señalar aquí que la serie de matrices

$$R = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P)^i$$

converge y es además igual a la inversa de la matriz $[I - \beta P]$. Por lo que resulta más conveniente calcular $[I - \beta P]$ para el problema y después $[I - \beta P]^{-1}$ para obtener

$$VTP = [I - \beta P]^{-1} q$$

Si tomamos $\beta = 0.9365$ que corresponde a un interés anual de 30 por ciento se concluye que

$$VTP^t = [146.51, 42.51, 32.61, 35.61, 43.83, 48.01, 52.56, 57.51]$$

cuyos valores pueden verificarse usando la matriz $[I - \beta P]^{-1}$ que se describe en la hoja siguiente.

$[I - BP] =$

1	0	-0.09365	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365	-0.09365	-0.28095
0	1	-0.09365	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365	-0.09365	-0.28095
0	0	0.90635	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365	0.90635	-0.28095
-0.1873	-0.28095	-0.28095	-0.09365	0.90635
0	0	0	-0.09365	-0.09365
-0.09365	-0.09365	-0.28095	-0.28095	-0.09365
0.90635	0	0	-0.28095	-0.09365
0	-0.09365	-0.09365	-0.28095	-0.28095
-0.09365	0.90635	0	-0.28095	-0.28095
0	0	-0.09365	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	0.90635	-0.09365	-0.28095

$[I - BP]^{-1} =$

1.277634495	1.2701007	2.615540323	2.169909100	3.283672275
2.806755773	0.904434563	0.819734266		
0.877634495	2.2701007	2.615540323	2.169909100	3.283672275
2.806755773	0.904434563	0.819734266		
0.877634495	1.2701007	3.615540323	2.169909100	3.283672275
2.806755773	0.904434563	0.819734266		
0.877634495	1.2701007	2.615540323	3.169909099	3.283672275
2.806755773	0.904434563	0.819734266		
1.023031063	1.491095467	2.742371927	2.121209118	4.156940671
2.619110998	0.841038761	0.762303671		
0.934760423	1.307277029	2.759366664	2.322830177	3.143845934
3.693119907	0.634521392	0.750363464		
0.867340403	-1.356787573	2.589350849	2.328566902	3.309361743
2.640734950	1.911534300	0.737952681		
0.877634495	1.2701007	2.615540323	2.169909100	3.283672275
	0.904434563	1.819734266		

4. Considere un sistema de aprovechamiento hidráulico consistente de un vaso y un distrito de riego (fig. 1). Suponga que los escurrimientos que llegan al vaso en cada período son estocásticamente independientes y tienen función de densidad.

Q	0	1/2	3/4	1
P(Q)	1/6	2/6	2/6	1/6

Considere que la capacidad del vaso es igual a uno y que la siguiente política de asignación de agua ha sido fijada.

S	0	1/4	1/2	3/4	1
w	1/4	1/4	1/2	3/4	3/4

donde S es el nivel de almacenamiento al principio del período y w el agua prometida para riego.

Especifique las probabilidades $P(S_{n+1} = y | S_n = x)$ donde $x, y = 0, 1/4, 1/2, 3/4$ y 1 que debido a la independencia de los escurrimientos de un período a otro es equivalente a determinar la correspondiente matriz de transición P.

Suponga que la estructura de costos del problema anterior es como sigue: Los beneficios obtenidos de prometer (y no necesariamente entregar) un volumen x de agua al distrito son:

x	0	1/4	1/2	3/4	1
$D(x)$	0	2	7/2	9/2	5

12

Asimismo, si x es el volumen de agua prometido y x el entregado, la penalización debida al déficit de agua $x - x \geq 0$ es

$x-x$	0	1/4	1/2	3/4	1
$T(x-x)$	0	-4	-7	-9	-10

y la debida a derramar un volumen z es:

z	0	1/4	1/2	3/4	1
$D(z)$	0	-3/2	-4	-4	-4

Determine para cada nivel de almacenamiento el valor esperado de los beneficios netos de un periodo y denótelos por q donde q es un vector columna de cinco componentes. Asimismo, calcule la expresión

$$VTP = [I - \beta P]^{-1} q$$

donde $\beta = 0.83$. Dicha expresión establece el beneficio esperado total actual asociado con cada nivel de almacenamiento.

Finalmente, determine las probabilidades estacionarias asociadas con esta política.

La matriz de transición asociada a la política es

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix}$$

De manera semejante la matriz de beneficios netos es:

$$B = \begin{bmatrix} -2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 2 \\ 7/2 & 0 & 7/2 & 7/2 & 7/2 \\ 9/2 & 0 & 9/2 & 9/2 & 9/2 \\ 0 & 9/2 & 0 & 9/2 & 4 \end{bmatrix}$$

En donde el elemento $B_{11} = -2$ se obtiene como sigue: El beneficio por prometer 1/4 de agua es 2. Sin embargo, en este caso no es posible entregar dicho volumen y la penalización es -4.

Por lo tanto $B_{11} = 2 - 4 = -2$. Asimismo, el vector de beneficios inmediatos $q = [q_i]$ donde $q_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} B_{ij}$ y el vector de beneficios totales es

$$v = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P)^i q = [I - \beta P]^{-1} q$$

$$q = [1.33, 2.00, 3.50, 4.5, 4.25]$$

$$v = [I - \beta P]^{-1} q = [18.01, 19.42, 20.91, 22.0, 22.22]$$

$$\text{El vector } \pi = \pi P \text{ es } \pi = (1/138) [18, 11, 36, 43, 30]$$

4. Procesos de Markov con políticas de operación múltiple

Un proceso de Markov discreto simple consiste de un número n de estados cuyo proceso estocástico está caracterizado por una matriz de transición P de orden $n \times n$. Un proceso de Markov discreto se dice que tiene políticas de operación múltiple si para cada estado existe un número finito de decisiones posibles. Específicamente, la probabilidad de transición del estado i a j depende de la política de operación k y se denota P_{ij}^k . Asimismo, si el proceso tiene asociado un mecanismo de costo o beneficios, se asocia con cada transición de un estado i a j y cada política k , un correspondiente beneficio o ganancia que se denota por B_{ij}^k . Las matrices de transición $[P_{ij}^k]$ y beneficios $[B_{ij}^k]$ caracterizan el proceso markoviano con decisiones múltiples.

Finalmente, se dice que el proceso de Markov es con descuento si una unidad monetaria en el presente es más deseable que la misma unidad monetaria en el futuro. El factor de descuento que permite actualizar el dinero se denota por β donde $0 < \beta < 1$.

En el proceso de Markov denote por $v_i(m)$ el valor presente de las ganancias esperadas en las siguientes m transiciones si el estado inicial del sistema es i y se sigue una política de operación óptima. La manera de definir $v_i(m)$, es por medio de la forma recursiva siguiente:

13

$$v_i(m) = \max_k \left(\sum_{j=1}^n P_{ij}^k \left[R_{ij}^k + \beta v_j(m-1) \right] \right)$$

$$= \max_k \left\{ q_i^k + \beta \sum_{j=1}^n P_{ij}^k v_j(m-1) \right\}$$

donde $q_i^k = \sum_{j=1}^n P_{ij}^k R_{ij}^k$ representa la ganancia inmediata esperada de una transición dado que estamos en el estado i y se usa la política de operación k .

Si el proceso markoviano opera con una misma política fija k^* para todas las etapas del mismo se observa que

$$v_i(m) = q_i^{k^*} + \beta \sum_{j=1}^n P_{ij}^{k^*} v_j(m-1)$$

donde $i=1, \dots, n$ y $m=1, 2, \dots$. Equivalentemente

$$v(m) = q^{k^*} + \beta P^{k^*} v(m-1)$$

donde q^{k^*} es el vector de beneficios inmediatos asociados con la política k^* y lo mismo sucede con la matriz de transición P^{k^*} . Usando el hecho que esto es cierto para todo entero m se tiene

$$v(m) = \left[\sum_{i=0}^{m-1} (\beta P^{k^*})^i \right] q^{k^*}$$

De donde si $v = \lim_{m \rightarrow \infty} v(m)$ se concluye que

$$v = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P^{k^*})^i q^{k^*} = [I - \beta P^{k^*}]^{-1} q^{k^*}$$

pues $[I - \beta P^k]^{-1} = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P^k)^i$. De esta manera tenemos resuelto el problema de markov con políticas múltiples bajo la suposición que una sola política fija para todas las etapas es necesaria (lo que es cierto en general). Por otra parte, para verificar que la política k^* fija sea la óptima se procede a maximizar la expresión

$$q_i^k + \beta \sum_{j=1}^n p_{ij}^k v_j \quad i=1, \dots, n.$$

para toda política k . Si para todos los estados la política que maximiza es la misma k^* que fijamos a priori entonces tal política es óptima. De otra manera se cambia k^* por aquella que maximice y se repite el proceso. Este es el principio en que se basa el método de mejoramiento de políticas propuesto por Howard y el cual se describe a continuación:

Técnica de mejoramiento de políticas (Howard 1960)

1. (Determinación de valores). Fije una política de operación k^* . Use la matriz de transición p^{k^*} y la de ganancias R^{k^*} para calcular los valores $q_i^{k^*}$, $i=1, \dots, n$. Específicamente resuelva el sistema :

$$v_i = q_i^{k^*} + \beta \sum_{j=1}^n p_{ij}^{k^*} v_j \quad i=1, \dots, n.$$

que equivale, matricialmente, a obtener

$$v = [I - \beta P^{k^*}]^{-1} q^{k^*}$$

2. (Mejoramiento de políticas). Para cada estado i determine la política k' que maximiza la expresión

$$q_i^k + \beta \sum_{j=1}^n p_{ij}^k v_j$$

La nueva política k' (si difiere de la que se tenía o propuso) es la nueva decisión del estado i . Regrese a 1 actualizando los valores P , R y q_i , $i=1, \dots, n$. El método termina cuando no existe cambio de políticas.

5.1 El problema básico de la programación dinámica

Considere el sistema dinámico de parámetro discreto.

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) \quad i=1, \dots, N$$

donde x_i se denomina la variable de estado (i.e., resume toda la información del sistema dinámico) en el tiempo i y se supone que $x_i \in S_i$ (conocido). Asimismo, u_i se denomina la variable de decisión y se supone que $u_i \in C_i$ (conocido). La función g_i se denomina la función de transformación de estados y permite determinar el estado en que se encuentra el sistema en el tiempo $i+1$ dado que se conoce el estado inicial en el tiempo i y que se efectuó la decisión u_i .

Dado un estado inicial x_0 se desea determinar la política de decisiones $\Pi = (u_1^*, u_2^*, u_3^*, \dots, u_N^*)$ tal que mínimize (o maximice).

$$z = \sum_{i=1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) \quad i=1, \dots, N$$

$$x_i \in S_i \quad ; \quad u_i \in C_i \quad i=1, \dots, N$$

donde las funciones g_i y f_i , $i=1, \dots, N$ son conocidas.

Una descripción esquemática del desarrollo del sistema dinámico de parámetro discreto con su correspondiente proceso de evaluación se muestra en la figura 1. Asimismo, una explicación de la

15

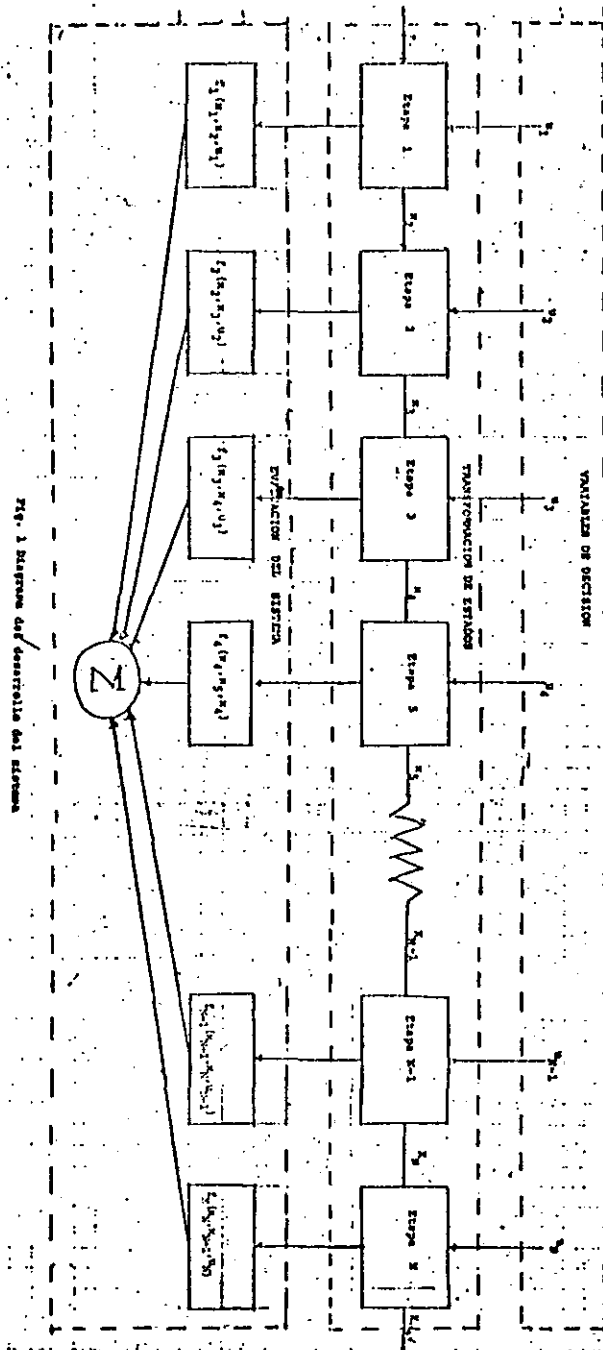


Fig. 1 Diagrama del desarrollo del sistema

manera en que se toman las decisiones, se transforman los estados y evalúan las decisiones, se tiene a continuación:

Etapa 1. El decisor observa el estado inicial x_1 y basado en esta información efectúa la decisión u_1 (que debería escribirse $u_1(x_1)$). Como resultado de esto se obtiene el estado x_2 de acuerdo a la transformación $x_2 = g_1(x_1, u_1)$ y el correspondiente valor asociado a tales estados y decisiones, denotado $f_1(x_1, x_2, u_1)$.

Etapa k . El decisor observa el estado x_k y basado en esta información toma la decisión u_k . Entonces, la transformación $g_k(x_k, u_k)$ proporciona el nuevo estado x_{k+1} y se contabiliza el correspondiente costo o beneficio representado por el escalar $f_k(x_k, x_{k+1}, u_k)$.

Etapa N . El decisor observa el estado x_{N-1} y efectúa la decisión u_{N-1} . Se obtiene el nuevo estado x_N y el correspondiente costo o beneficio $f_N(x_{N-1}, x_N, u_{N-1})$.

Lo que se desea en este proceso de decisiones secuenciales es determinar la política $\bar{u} = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$ que minimice la suma total de los costos incurridos en cada etapa, esto es

$$\sum_{i=1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)$$

16

5.2 Las ecuaciones recursivas

Una manera de resolver el problema de N etapas de decisión es proceder a descomponerlo en N problemas cuya solución es equivalente al problema original. A grandes rasgos lo que se pretende es resolver primero la última etapa y usar dichos resultados para resolver la penúltima etapa y así sucesivamente. Específicamente el procedimiento que se realiza es como sigue:

En la última etapa la decisión u_N a realizar depende únicamente del vector de estados x_N y para cada valor de x_N lo que se desea es determinar u_N^* tal que resuelva el problema

$$F_N(x_N) = \min \{ f_N(x_N, x_{N+1}, u_N) \mid u_N \in C_N \}$$

donde $x_{N+1} = g_N(x_N, u_N)$. Aquí se supone que $F_N(x_N)$ es un valor finito y que existe la decisión u_N^* óptima.

En la etapa $N-1$, las decisiones (u_N, u_{N-1}) que se realicen dependen únicamente del vector de estados x_{N-1} . Dichas decisiones serán óptimas si resuelven el problema

$$F_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{(u_i)} \{ f_{N-1}(x_{N-1}, x_N, u_{N-1}) + f_N(x_N, x_{N+1}, u_N) \}$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) \quad ; \quad x_i \in S_i \quad , \quad u_i \in C_i \quad i=N-1, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$F_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{u_{N-1}} \{f_{N-1}(x_{N-1}, x_N, u_{N-1}) + \min_{u_N} \{f_N(x_N, x_{N+1}, u_N)\}\}$$

$$= \min_{u_{N-1}} \{f_{N-1}(x_{N-1}, x_N, u_{N-1}) + F_N(x_N)\}$$

y se observa que la solución de la etapa N-1 es equivalente a resolver un problema de una sola decisión (u_{N-1}) y que dicho problema incorpora los valores óptimos asociados con los estados x_N calculados en la etapa N.

En general, para la etapa k donde $k=1, 2, \dots, N-1$, las decisiones a realizar (u_k, u_{k+1}, \dots, u_N) dependen únicamente del vector de estados x_k . Dichas decisiones serán óptimas si resuelven el problema.

$$F_k(x_k) = \min_{\{u_i\}} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + \sum_{i=k+1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)\}$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) ; \quad x_i \in S_i, \quad u_i \in C_i \quad i=k, \dots, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$F_k(x_k) = \min_{u_k} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + \min_{\{u_i\}} \sum_{i=k+1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)\}$$

$$= \min_{u_k} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + F_{k+1}(x_{k+1})\}$$

de donde la solución de la etapa k es equivalente a resolver un problema de una sola decisión (u_k) y dicho problema incorpora los valores óptimos asociados con los estados x_{k+1} calculados en la etapa k+1.

Una forma esquemática de cómo la solución del problema de la etapa k+1 se anida en la solución del problema k se muestra en la figura 2.

Como resultado de la discusión se tiene

Proposición 1. La política de decisión y valor de la función objetivo óptimo asociado con el problema básico pueden obtenerse como sigue

$$F_N(x_N) = \min_{u_N} \{f_N(x_N, x_{N+1}, u_{N+1})\} \quad (1)$$

$$F_k(x_k) = \min_{u_k} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + F_{k+1}(x_{k+1})\} \quad (2)$$

donde $k=1, 2, \dots, N-1$. La relación (1) se denomina condición de frontera y (2) las ecuaciones recursivas de la programación dinámica. El vector de decisiones $\bar{u} = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$ que resuelve (1) y (2) es la solución óptima del problema básico y $F_1(x_1)$ el correspondiente valor óptimo.

5.3 El problema básico estocástico

Considere el sistema dinámico de parámetro discreto

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=1, \dots, N.$$

donde x_i se denomina la variable de estado (esto es, la variable o vector de variables que resume toda la información del sistema dinámico) en el tiempo i y se supone que $x_i \in S_i$; u_i variable o vector de variables de decisión y se supone que $u_i \in C_i$; w_i , variable o vector de variables de perturbancia o estocásticas con $w_i \in D_i$. Se supone que los valores de las perturbancias w_i siguen una función de distribución que depende únicamente de x_i y u_i , y se denota por $P_i(\cdot | x_i, u_i)$. La función g_i es la denominada función de transformación de estados. La colección de variables de decisión denotada $\Pi = (u_1, u_2, \dots, u_N)$ se denomina la política de decisión.

Dado un estado inicial x_1 se pretende determinar la política de decisión $\Pi = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$ que minimice (o maximice)

$$J_0(x_0) = E_{(w_k)} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right]$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=1, 2, \dots, N.$$

$$x_i \in S_i \quad ; \quad u_i \in C_i \quad ; \quad w_i \in D_i \quad i=1, 2, \dots, N.$$

donde las funciones f_{N+1} , f_i y g_i $i=1, \dots, N$, son conocidas y

$E(\cdot)$ es el operador esperanza que considera de manera explícita el aspecto estocástico de las variables w_i en cada etapa $i=1, \dots, N$.

Una descripción esquemática de la forma en que se desarrolla el sistema dinámico y la manera en que se obtiene el valor de la función objetivo se muestra en la figura 2. Asimismo, una explicación de la manera en que se efectúan las decisiones, transforman los estados y contabilizan las decisiones se tiene a continuación:

Etapa 1.- El decisor observa el estado inicial x_1 y efectúa una decisión u_1 (que obviamente depende de x_1). Un evento w_1 es generado de acuerdo a la función de distribución $P_1(\cdot | x_1, u_1)$. El sistema se transforma al estado $x_2 = g_1(x_1, u_1, w_1)$ y un costo, denotado $f_1(x_1, u_1, w_1)$, es originado.

Etapa k .- El decisor observa el estado x_k y basado en ello efectúa la decisión u_k . Se produce un evento w_k de acuerdo a la distribución $P_k(\cdot | x_k, u_k)$ y el nuevo estado del sistema es $x_{k+1} = g_k(x_k, u_k, w_k)$ con un costo $f_k(x_k, u_k, w_k)$ que se suma a los anteriores.

Etapa final.- Un costo $f_N(x_{N+1})$ es originado debido a que se llega al estado x_{N+1} y se suma a los anteriores.

La política $\Pi = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$ óptima es tal que minimiza (o maximiza) la expresión:

$$J_0(x_0) = E_{(w_k)} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right]$$

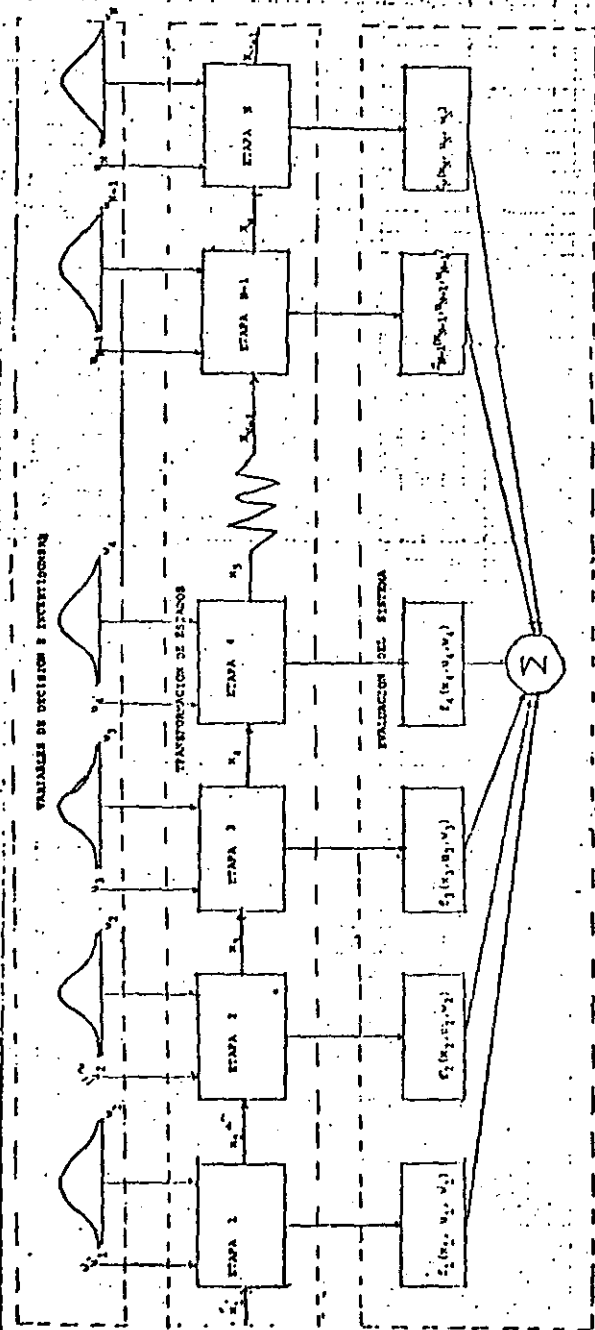


Fig. 3. Diagrama de desarrollo del sistema

5.4 Las ecuaciones recursivas

Una manera de resolver el problema estocástico de N etapas de decisión es descomponerlo en N problemas de acuerdo al principio de la programación dinámica. En este principio lo que se pretende es resolver primero la última etapa y usar tales resultados para resolver la penúltima y así sucesivamente. Específicamente, el procedimiento que se realiza es como sigue:

En la etapa N, la decisión u_N a realizar depende únicamente del vector de estados x_N y de la forma en que se presentan los eventos probabilísticos de la variable w_N . En este caso, para cada valor de x_N lo que se pretende es determinar u_N^* que resuelva el problema.

$$J_N(x_N) = \min_{u_N} E_{w_N} [f_{N+1}(x_{N+1}) + f_N(x_N, u_N, w_N)]$$

donde $x_{N+1} = g_N(x_N, u_N, w_N)$, $u_N \in C_N$; $w_N \in D_N$. Por simplicidad se supone que existe una decisión u_N^* tal que $f_N(x_N)$ es finito, con lo que el problema está bien definido.

En la etapa N-1, las decisiones (u_{N-1}, u_N) que se realicen dependen únicamente del vector de estados x_{N-1} y tales decisiones deberán tomar en cuenta el comportamiento de las variables estocásticas w_{N-1} y w_N . Dichas decisiones son óptimas si resuelven el problema

$$J_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{(u_i)} E_{(w_i)} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=N-1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right] \quad 20$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=N-1, N$$

$$x_{i+1} \in S_i ; u_i \in C_i ; w_i \in D_i \quad i=N-1, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$\begin{aligned} J_{N-1}(x_{N-1}) &= \min_{u_{N-1}} E_{w_{N-1}} \left\{ \left[f_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1}) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \min_{u_N} E_{w_N} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + f_N(x_N, u_N, w_N) \right] \right\} \\ &= \min_{u_{N-1}} E_{w_{N-1}} \left\{ f_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1}) + J_N(x_N) \right\} \end{aligned}$$

y se concluye que la solución de la etapa N-1 es equivalente a resolver un problema con una sola decisión (u_{N-1}) y que dicho problema incorpora los valores óptimos del problema asociados con los estados x_N en la etapa N. Asimismo, una vez determinada u_{N-1}^* se observa que para cada w_{N-1} es posible determinar x_N por medio de $x_N = g_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1})$ y de aquí, usando los cálculos de la etapa N, se conoce la política u_N^* . De esta manera (u_{N-1}^*, u_N^*) es la solución óptima del problema en la etapa N-1.

En la etapa $k=1, 2, \dots, N-1$ las decisiones a realizar, denotadas ($u_k, u_{k+1}, \dots, u_{N-1}$) dependen únicamente del conocimiento del vector de estados x_k . Dichas soluciones son óptimas si resuelven el problema

$$J_k(x_k) = \min_{(u_i)} E_{(w_i)} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=k}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right]$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=k, \dots, N$$

$$x_{i+1} \in S_i, u_i \in C_i ; w_i \in D_i \quad i=k, \dots, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$\begin{aligned} J_k(x_k) &= \min_{u_k} E_{w_k} \left\{ \left[f_k(x_k, u_k, w_k) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \min_{(u_i)} E_{(w_i)} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=k+1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right] \right\} \\ &= \min_{u_k} E_{w_k} \left[f_k(x_k, u_k, w_k) + J_{k+1}(x_{k+1}) \right] \end{aligned}$$

y se observa que podemos resolver el problema de la etapa k, mediante un problema con una sola decisión (u_k), aunque para ello es necesario haber resuelto el problema de la etapa k+1, para todos los valores de x_{k+1} .

Como resultado de esta discusión se tiene

Proposición 2. La política de decisión y valor óptimo asociados con el problema básico estocástico pueden obtenerse mediante la solución de las ecuaciones

$$J_N(x_N) = \min_{u_N} E_{w_N} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + f_N(x_N, u_N, w_N) \right]$$

$$J_k(x_k) = \min_{u_k} E_{w_k} \left[f_k(x_k, u_k, w_k) + J_{k+1}(x_{k+1}) \right]$$

donde $k=1, \dots, N-1$. La primera ecuación se denomina condición de frontera y la segunda representa las ecuaciones recursivas de la programación dinámica.

1. (Trayectoria simple I). Considere la geometría y longitudes de un conjunto de calles de un solo sentido (fig.1) y suponga que desamos encontrar la trayectoria de longitud mínima que nos lleve del punto A al punto B. Una manera de resolver el problema es considerar el número de trayectorias distintas que parten de A y llegan a B, para después comparar sus longitudes y seleccionar la de mínima longitud. En el presente caso puede verificarse que existen 20 trayectorias distintas y que para determinar la longitud de cada una de ellas se requiere efectuar 5 sumas. Por otra parte, para determinar la trayectoria de mínima longitud se necesitan 19 comparaciones. Como puede observarse, se requiere para resolver este problema 100 sumas y 19 comparaciones de números.

La solución con programación dinámica

Empecemos por considerar el siguiente razonamiento: Si estoy en A solo tengo la opción ir a C o D. Si supongo que las trayectorias de longitud mas corta de C a B y de D a B las conozco y tales longitudes las denoto por L_C y L_D , respectivamente, entonces

$$L_A = \min \{1+L_C, 0+L_D\}$$

esto es, L_A sería la longitud de la trayectoria mas corta de A a B. El único problema de este razonamiento es que necesito conocer L_C y L_D .

22

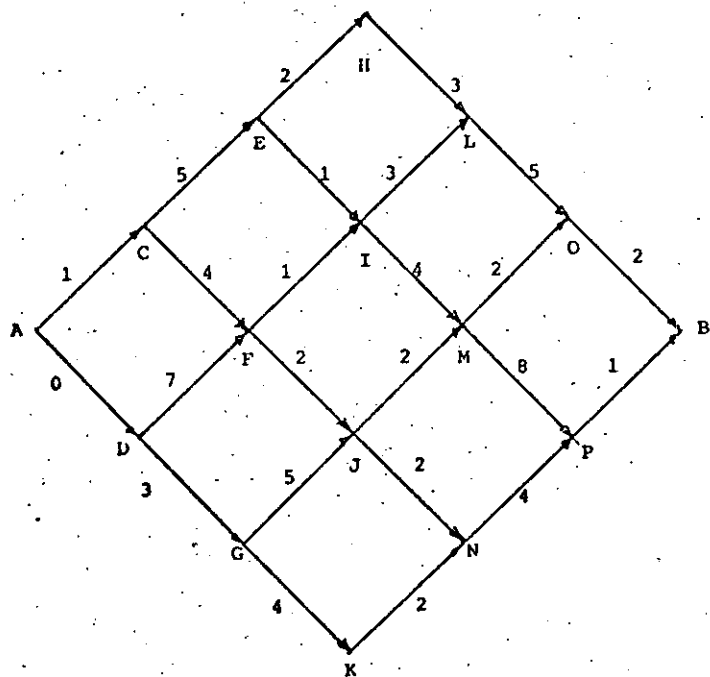


Fig. 1. Geometría de un conjunto de calles

Suponga que repito el razonamiento anterior con el punto C y defino L_E y L_F como las longitudes de las trayectorias más cortas de E a B y de F a B, respectivamente. Entonces se observa que

$$L_C = \min (5 + L_E, 4 + L_F)$$

De manera semejante

$$L_D = \min (7 + L_F, 3 + L_G)$$

Sólo falta aquí conocer L_E , L_F y L_G . Sin embargo, para ello se requiere conocer los valores de L_H , L_I , L_J y L_K , que a su vez dependen de L_L , L_M y L_N . Estas últimas longitudes dependen de L_O y L_P cuyos valores son triviales de calcular, específicamente, $L_O = 2$ y $L_P = 1$. Por lo tanto se observa que:

$$\begin{aligned} L_L &= 5 + L_O = 7 & ; & \quad L_M = \min (2 + L_O, 8 + L_P) = 4 \\ L_N &= 4 + L_P = 5 & ; & \quad L_H = 3 + L_L = 10 ; \\ L_I &= \min (3 + L_L, 4 + L_M) = 8 \\ L_J &= \min (2 + L_M, 2 + L_N) = 6 & ; & \quad L_K = 2 + L_N = 7 \\ L_E &= \min (2 + L_H, 1 + L_I) = 9 \\ L_F &= \min (1 + L_I, 2 + L_J) = 8 \\ L_G &= \min (5 + L_J, 4 + L_K) = 11 \\ L_C &= \min (5 + L_E, 4 + L_F) = 12 \\ L_D &= \min (7 + L_F, 3 + L_G) = 14 \\ L_A &= \min (1 + L_O, 0 + L_D) = 13 \end{aligned}$$

Conviene estimar el esfuerzo requerido con este enfoque y

compararlo con el enfoque exhaustivo. En este caso se necesitó efectuar una suma en cada uno de los puntos H, L, O, K, N y P, pues una sola decisión existía. Asimismo se necesitó de dos sumas y una comparación en los nueve puntos restantes, pues existían dos decisiones. Por lo que en total se necesitó de 24 sumas y 9 comparaciones comparados con 100 sumas y 19 comparaciones para el caso exhaustivo ó también llamado de la fuerza bruta.

Las ecuaciones planteadas en cada nodo, por ejemplo:

$$L_L = 5 + L_O \quad \text{ó} \quad L_D = \min(7 + L_P, 3 + L_G)$$

Se denominan las ecuaciones recursivas de la programación dinámica y establecen de manera recurrente la preservación del criterio de optimalidad para determinar la trayectoria de longitud mínima. Asimismo, la condición (trivial) $L_B = 0$ se denomina la condición de frontera.

2. (Trayectoria Simple II). Considere la gráfica dirigida de la figura 2 y suponga que se desea determinar la trayectoria de mínima longitud de A a B. Observe que las posiciones relativas de los nodos de esta gráfica están dados por un par ordenado (x,y) donde x es la abscisa y la ordenada es denotada por y . También observe que si estamos en cualquier punto (x,y) y deseamos llegar al punto B, lo que haremos es siempre desplazarnos a la derecha ya sea aumentando o disminuyendo el valor de y . Específicamente, si estamos en (x,y) podemos desplazarnos al punto $(x+1, y+1)$ o bien $(x+1, y-1)$. Considerando estas observaciones podemos especificar la manera de calcular la trayectoria de mínima longitud de A a B:

Denote por $f(x,y)$ el valor de la trayectoria de mínima longitud si partimos del punto (x,y) y llegamos al punto B ó bien vértice $(6,0)$. Denote por $a(x,y)$ la longitud del arco que conecta el vértice (x,y) con el vértice $(x+1, y+1)$ y por $d(x,y)$ la longitud del arco que conecta al vértice (x,y) con el vértice $(x+1, y-1)$. Específicamente $a(x,y)$ es la longitud del arco cuando aumentamos el valor de y mientras que $d(x,y)$ es la longitud del arco cuando disminuimos el valor de y .

En términos de esta notación se observa que la ecuación recursiva para determinar $f(x,y)$ es dada por

$$f(x,y) = \min \{a(x,y) + f(x+1, y+1), d(x,y) + f(x+1, y-1)\}$$

con la condición de frontera

$$f(6,0) = 0$$

24

Solución de las ecuaciones recursivas

Usando el hecho que $f(6,0)$ se tiene que

$$f(5,1) = \min \{d(5,1) + f(6,0)\} = \min \{2+0\} = 2$$

$$f(5,1) = \min \{a(5,-1) + f(6,0)\} = \min \{1+0\} = 1$$

De manera semejante

$$f(4,0) = \min \{a(4,0) + f(5,1), d(4,0) + f(5,-1)\}$$

$$= \min \{2 + 2, 8 + 1\} = 4$$

y así sucesivamente

$$f(4,2) = 7 \quad ; \quad f(4,-2) = 5$$

$$f(3,3) = 10 \quad ; \quad f(3,1) = 8$$

$$f(3,-1) = 6 \quad ; \quad f(3,-3) = 7$$

$$f(2,2) = 9 \quad ; \quad f(2,0) = 8$$

$$f(2,-2) = 11 \quad ; \quad f(1,1) = 12$$

$$f(1,-1) = 14 \quad ; \quad f(0,0) = 13$$

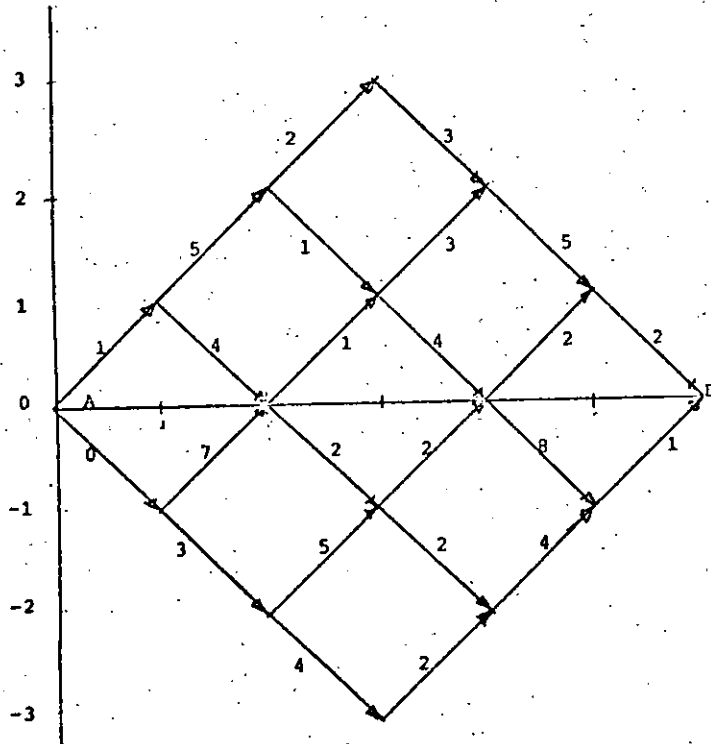


Fig. 2 Gráfica dirigida

3. (Problema de distribución de agua). Un canal es usado para la distribución de tres zonas de riego localizadas a 30, 50 y 75 km de la presa que surte el canal (fig. 1). En el presente período se dispone de 800 millones de metros (Mm^3) de agua y los costos de bombeo y beneficios de riego por un volumen dado a cada zona son conocidos y dados en la tabla siguiente:

Volumen (Mm^3)	Costo bombeo (Hiles pesos/km)	Beneficios de riego (Miles de pesos)		
		$B_1(q)$	$B_2(q)$	$B_3(q)$
0	0	0	0	0
200	7.6	900	400	600
400	10.7	1250	760	980
600	13.2	1500	1090	1310
800	15.2	1690	1380	1600

Se desea determinar la política de distribución de agua que maximice los beneficios netos del sistema.

El problema puede verse como la determinación de los volúmenes q_1 , q_2 y q_3 asignados a cada zona de riego de manera que se maximice

$$z = \sum_{i=1}^3 B_i(q_i) - 30c\left(\sum_{i=1}^3 q_i\right) - 20c(q_1+q_2) - 25c(q_1)$$

$$q_1 + q_2 + q_3 \leq 800$$

$$q_1 \geq 0; q_2 \geq 0; q_3 \geq 0$$

La solución con programación dinámica.

25

Una manera de resolver este problema consiste en definir $J_k(q)$ como el máximo beneficio neto obtenido de distribuir un volumen q a las primeras k zonas de riego. Note que lo que desea es $J_3(800)$ y que se cumple la siguiente relación.

$$J_{k+1}(q) = \max \{B_{k+1}(x) - d_{k+1} c(q) + J_k(q-x) \mid 0 \leq x \leq q\}$$

donde d_{k+1} es la distancia que existe entre la zona de riego $k+2$ y $k+1$; $c(q)$ es el costo de transporte por kilómetro del volumen q asignado a las $k+1$ primeras zonas; y $B_{k+1}(x)$ el beneficio obtenido de asignar un volumen x a la zona de riego $k+1$. Esta relación es la ecuación recursiva de la programación dinámica. La condición de frontera es $J_0(q) = 0$ para toda q .

Solución de las ecuaciones recursivas.

Si $k=0$ se desea determinar la función

$$J_1(q) = \max \{B_1(q_1) - 25 c(q_1) : 0 \leq q_1 \leq q\}$$

cuyos valores quedan resumidos en (se pide verificar):

q	0	200	400	600	800
$J_1(q)$	0	710	982	1170	1310

y la decisión óptima en todos los casos es asignar todo el volumen de agua a la zona de riego 1. De manera semejante:

$$J_2(q) = \max \{J_2(q, q_2) \mid 0 \leq q_2 \leq 2\}$$

donde $J_2(q, q_2) = B_2(q_2) - 20c(q) + J_1(q - q_2)$. Los correspondientes valores de $J_2(q)$ así como la decisión óptima se dan en la tabla siguiente:

q	q ₂	q - q ₂	J ₂ (q, q ₂)	J ₂ (q)	Asignación óptima
0	0	0	0	0	0
200	0	200	<u>558</u>	558	q* ₂ = 0 q* ₁ = 200
	200	0	248		
400	0	400	768	896	q* ₂ = 200 q* ₁ = 200
	200	200	<u>896</u>		
	400	0	546		
600	0	600	906	1206	q* ₂ = 400 q* ₁ = 200
	200	400	1118		
	400	200	<u>1206</u>		
	600	0	826		
800	0	800	1006	1496	q* ₂ = 600 q* ₁ = 200
	200	600	1266		
	400	400	1438		
	600	200	<u>1496</u>		
	800	0	1076		

Finalmente se observa que

$$26 \quad J_3(q) = \max \{J_3(q, q_3) \mid 0 \leq q_3 \leq q\}$$

donde $J_3(q, q_3) = B_3(q_3) - 30c(q) + J_2(q - q_3)$ cuya solución óptima para $q = 800$ se muestra a continuación:

q	q ₃	q - q ₃	J ₃ (q, q ₃)	J ₂ (q)	Asignación óptima
800	0	800	1040	1420	q* ₃ = 400 q* ₂ = 200 q* ₁ = 200
	200	600	1350		
	400	400	<u>1420</u>		
	600	200	1412		
	800	0	1144		

4. (El problema del jugador). Un jugador dispone de 3 pesos y tiene opción de participar hasta cuatro veces en el siguiente juego: Se puede apostar 0,1,2,3,..., pesos. La probabilidad de ganar la apuesta es 0.6 y se obtiene dos veces el dinero que se apostó. La probabilidad de perder es 0.4 y se pierde la cantidad que se apostó. Se desea determinar la estrategia que permita maximizar la probabilidad de terminar el juego con una cantidad mínima de 5 pesos y el valor de dicha probabilidad.

La solución con programación dinámica.

Con el propósito de establecer un método para resolver el problema empezaremos por definir $f_i(x)$ como la máxima probabilidad de terminar el juego con al menos 5 pesos dado, dado que se han realizado i jugadas, se tiene x pesos y el número máximo de jugadas permitidas es cuatro. Entonces se cumple que

$$f_i(x) = \max_{u_i} \{0.6 f_{i+1}(2u_i + (x-u_i)) + 0.4 f_{i+1}(x-u_i)\}$$

donde $u_i = 1, \dots, x$. Asimismo, $f_5(x) = 1$ si $x \geq 5$; $f_5(x) = 0$ si $x < 5$; $f_1(x) = 1$ si $x \geq 5$ para toda $i = 2, 3, 4$.

Solución de las ecuaciones recursivas.

Si $i=4$ se observa que

$$f_4(x) = \min_{u_4} \{0.6 f_5(2u_4 + (x-u_4)) + 0.4 f_5(x-u_4)\}$$

donde $u_4 = 0, 1, 2, \dots, x$ y cuya solución se muestra en:

27

x	1	2	3	4
$f_4(x)$	0	0	0.6	0.6
u_4	-	-	2, 3	1, 2, 3, 4

De manera semejante la solución para $i=3$, y $i=2$ se muestra en las tablas siguientes

x	1	2	3	4
$f_3(x)$	0	.36	0.6	0.84
u_3	-	1, 2	0, 2, 3	1
$f_2(x)$	0.216	0.504	0.648	0.84
u_2	1	2	1	0, 1

Finalmente

$$f_1(3) = \max \{0.648, 0.7056, 0.6864, 0.6\} = 0.7056$$

y la decisión óptima es $u_1 = 3$.

Ejemplos

1. Considere un sistema de aprovechamiento hidráulico consistente de un vaso y un distrito de riego (fig. 1). Suponga que los escurrimientos que llegan al vaso en cada período son estocásticamente independientes y tienen función de densidad.

Q	0	1/2	3/4	1
P(Q)	1/6	2/6	2/6	1/6

Considere que la capacidad del vaso es uno y que la siguiente política de asignación de agua es usada

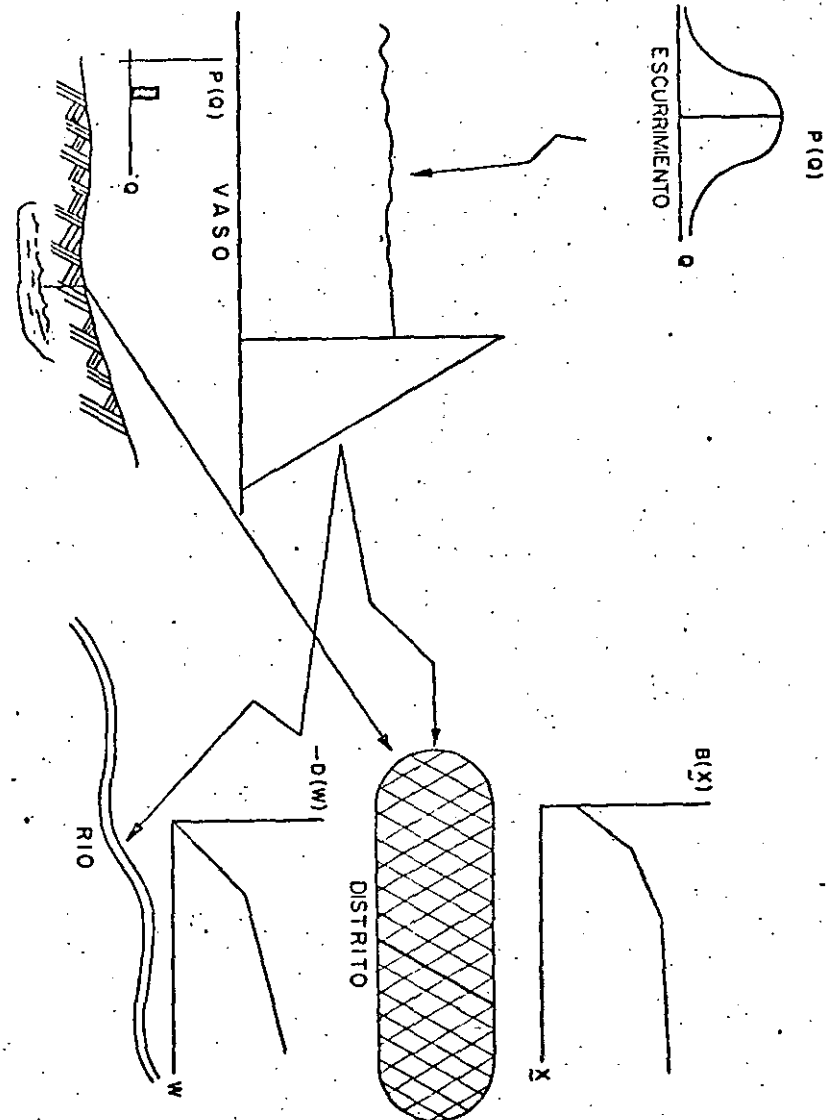
S	0	1/4	1/2	3/4	1
w	1/4	1/4	1/2	3/4	3/4

donde S es el nivel de almacenamiento al principio del período y w el agua prometida para riego.

Especifique las probabilidades $P(S_{n+1} = y \mid S_n = x)$ donde $x, y = 0, 1/4, 1/2, 3/4$ y 1 que debido a la independencia de los escurrimientos de un período a otro es equivalente a determinar la correspondiente matriz de transición P.

Suponga que la estructura de costos del problema anterior es como sigue: Los beneficios obtenidos de prometer (y no necesariamente entregar) un volumen x de agua al distrito son:

Fig.2 EL SISTEMA DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS



x	0	1/4	1/2	3/4	1
B(x)	0	2	7/2	9/2	5

Asimismo, si x es el volumen de agua prometido y \bar{x} el entregado, la penalización debida al déficit de agua $x - \bar{x} \geq 0$ es

29

$x - \bar{x}$	0	1/4	1/2	3/4	1
T(x-x)	0	-4	-7	-9	-10

y la debida a derramar un volumen z es:

z	0	1/4	1/2	3/4	1
D(z)	0	-3/2	-4	-4	-4

Determine la política óptima de extracción de agua usando:

- El método de Howard
- Aproximaciones sucesivas normal
- Aproximaciones sucesivas modificado
- Programación lineal.

Modelación del problema

Una manera de analizar el problema anterior es postular un modelo en que se consideren de manera explícita la forma en que cambian los almacenamientos de un periodo a otro, dada las decisiones de prometer un volumen de agua y establecer si existen déficits en la entrega de agua o bien derrames de la misma. Dicho modelo deberá considerar el caracter estocástico de los escurrimientos al vaso y un criterio de jerarquización de alternativas de operación para un número N de periodos de planeación.

El modelo propuesto se presenta en la siguiente hoja en donde (1) representa la ecuación de balance de entradas y salidas de agua; (2) establece que el almacenamiento del vaso debe estar entre $\underline{S} = 0$ y $\bar{S} = 1$; (3) especifica que el volumen de agua entregado es no-negativo y menor o igual que el volumen de agua prometida; y (4) especifica que el volumen de agua derramado es no-negativo. En el modelo se supone que todos los eventos en las restricciones se efectúan al principio de cada periodo. Por otra parte, la función objetivo considera de manera explícita los beneficios de asignación de agua, así como los déficits en la entrega y la debida a derrames, todos ellos convenientemente actualizados.

Reformulación del modelo

Conviene proceder a reformular el modelo descrito con el propósito de establecer un método de solución. Para ello defina

$\psi_i(S_i)$, el valor máximo esperado de los beneficios netos actualizados, obtenidos del año i al N , dado un almacenamiento inicial S_i . Una manera recursiva de obtener $\psi_i(S_i)$ es dada como sigue:

$$\psi_i(S_i) = \max_{x_i \in \Omega_i} E \{R(x_i, x_i, w_i) + \beta \psi_i(S_{i+1})\}$$

donde $R(x_i, x_i, w_i) = B(x_i) + T(x_i - x_i) + D(w_i)$ y Ω_i representa el conjunto de valores x_i que satisfacen las restricciones. Esta ecuación recursiva es la fórmula de la programación dinámica y tiene condición de frontera $\psi_0(S_0) = 0$.

Considerando que se desea establecer la estrategia de extracción de agua del vaso para un número finito de niveles (i.e., $S_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1$) y tomando en cuenta la independencia estocástica de los escurrimientos podemos discretizar la fórmula recursiva para obtener:

$$\psi_i(r) = \max_k \left(\sum_{s=1}^5 p_{rs}^k \left[R_{rs}^k + \beta \psi_{i+1}(s) \right] \right)$$

donde el índice $r = 1, 2, 3, 4$ y 5 denota los respectivos valores (estados) del almacenamiento $S_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4$ y 1 , respectivamente. Lo mismo es cierto del índice $s = 1, 2, 3, 4$ y 5 . Asimismo, k representa las posibles estrategias de decisión, esto es, $k = 1, 2, 3, 4$ y 5 especifica que el agua prometida para riego es $x_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4$ y 1 , respectivamente. Los valores de las matrices de transición $[p_{rs}^k]$ y de beneficios inmediatos $[R_{rs}^k]$ se dan en la tabla 1. Con esto se logra reformular la problemática analizada como un proceso de Markov con descuento.

MODELO DE ASIGNACION DE AGUA

$$\text{Maximize}_{(x_i)} E_{(Q_i)} \left[\sum_{i=1}^N \beta^{i-1} (B(x_i) + T(x_i - x_i) + D(z_i)) \right]$$

sujeto a :

(1) $S_{i+1} = S_i + Q_i - x_i - z_i$

(2) $S_i \leq S_i \leq S$

(3) $0 \leq x_i \leq x_i$

(4) $0 \leq z_i$

donde $i = 1, \dots, N$.

a. Aplicación del método de Howard

La política inicial es

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	2	2	3	4	4

y la correspondiente matriz de transición y vector de beneficios inmediatos es:

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 1.33 \\ 2.00 \\ 3.50 \\ 4.50 \\ 4.25 \end{bmatrix}$$

y el sistema de ecuaciones asociado con esta política es

$$v = q + \beta P v \quad \text{cuya solución } v = [I - \beta P]^{-1} q \text{ es:}$$

$$v = [18.02, 19.42, 20.92, 21.92, 22.22]$$

Usando la rutina de mejoramiento de políticas (Tabla 2) se observa que es necesario cambiar en los estados 2 y 5 la política de extracción original 2 y 4 por 3 y 5, respectivamente.

La nueva política de extracción

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	2	3	3	4	5

cuya matriz de transición y vector de beneficios inmediatos es:

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 1.33 \\ 2.83 \\ 3.50 \\ 4.50 \\ 5.00 \end{bmatrix}$$

La solución del sistema de ecuaciones $v = q + \beta P v$ dada por

$$v = [I - \beta P]^{-1} q \text{ es igual a}$$

$$v = [18.18, 19.68, 21.08, 22.08, 22.58]$$

y puede comprobarse de la tabla 2 que dicha política es óptima.

Finalmente, conviene señalar que el vector de probabilidades estacionarias π tal que $\pi = \pi P$ es dado por

$$\pi = \left[\frac{4}{24}, \frac{2}{24}, \frac{8}{24}, \frac{7}{24}, \frac{3}{24} \right]$$

Tabla 1. Matrices de transición y beneficios inmediatos asociados.

Estado Almacenamiento)	Política (Extracción)	Probabilidad $[P_{ij}^k]$					Beneficio Neto inmediato $[R_{sk}^k]$					Beneficio inmediato esperado $\sum_{s=1}^5 P_{sk}^k R_{sk}^k$		
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Beneficio inmediato esperado	$\sum_{s=1}^5 P_{sk}^k R_{sk}^k$	
1(0)	1(0)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	0	0	0	0	0	0	0	0
	2(1/4)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	-2	2	2	2	2	0	0	4/3
	3(2/4)	3/6	2/6	1/6	0	0	7/6	7/2	7/2	0	0	0	0	7/6
	4(3/4)	5/6	1/6	0	0	0	11/10	9/2	0	0	0	0	0	5/3
	5(1)	1	0	0	0	0	-2/6	0	0	0	0	0	0	-2/6
2(1/4)	1(0)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	0	0	0	-3/2	-3/2	-3/4	
	2(1/4)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	2	0	2	2	2	2	2	
	3(1/2)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	-1/2	7/2	7/2	7/2	7/2	0	17/6	
	4(3/4)	3/6	2/6	1/6	0	0	13/6	9/2	9/2	0	0	0	10/3	
	5(1)	5/6	1/6	0	0	0	8/5	5	0	0	0	0	13/6	
3(1/2)	1(0)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	0	0	-14/6	-14/6	-35/18	
	2(1/4)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	2	0	2	9/6	9/6	7/4	
	3(1/2)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	7/2	0	7/2	7/2	7/2	0	7/2	
	4(3/4)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	+1/2	9/2	9/2	9/2	9/2	0	23/6	
	5(1)	3/6	2/6	1/6	0	0	8/3	5	5	0	0	0	23/6	
4(3/4)	1(0)	0	0	0	1/6	5/6	0	0	0	0	-3	-3	-5/2	
	2(1/4)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	2	0	3/5	3/5	5/6	
	3(1/2)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	7/2	0	7/2	3	3	13/4	
	4(3/4)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	9/2	0	9/2	9/2	9/2	0	9/2	
	5(1)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	1	5	5	5	5	0	13/3	
5(1)	1(0)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-20/6	-20/6	-10/3	
	2(1/4)	0	0	0	1/6	5/6	0	0	0	2	-1	-1	-1/2	
	3(1/2)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	7/2	0	21/10	21/10	7/3	
	4(3/4)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	9/2	0	9/2	4	4	17/4	
	5(1)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	5	0	5	5	5	5	5	

62

Tabla 2. Resultados de la rutina de mejoramiento de políticas.

Estado (Almacenamiento)	Decisión (Extracción)	$q_1^k + \sum_{j=1}^5 P_{1j}^k v_j$	
		Iteración 1	Iteración 2
1	1	17.42	17.58
	2	19.02	18.19 *
	3	15.91	17.07
	4	16.31	17.07
	5	14.62	14.75
2	1	17.22	17.45
	2	19.42	19.58 *
	3	19.52	19.68 *
	4	19.08	19.24
	5	17.31	17.46
3	1	16.32	16.59
	2	19.72	19.95
	3	20.92	21.08 *
	4	20.52	20.68
	5	19.58	19.74
4	1	15.90	16.17
	2	19.10	19.36
	3	21.22	21.45
	4	21.92	22.08 *
	5	21.02	21.18
5	1	15.11	15.40
	2	17.90	18.17
	3	20.60	20.86
	4	22.22	22.45 *
	5	22.42	22.58 *

* Indica la política que se proponía como óptima.

a. Aplicación del método de Howard con otra política inicial

Considere ahora la política inicial

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	5	5	5	5	5

con matriz de transición y vector de beneficios dado por

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5/6 & 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 3/6 & 2/6 & 1/6 & 0 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} -2/6 \\ 13/6 \\ 23/6 \\ 13/6 \\ 5 \end{bmatrix}$$

El sistema de ecuaciones asociado a esta política es $v = q + \beta P v$ cuya solución $v = (I - \beta P)^{-1} q$ está dada por

$$v = [-1.96, 0.94, 3.81, 6.24, 8.71]^t$$

Puede observarse de la tabla 4, que la política no es óptima y que debe reemplazarse por

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	1	2	2	3	4

con matriz de transición y vector de beneficios dado por

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 7/4 \\ 13/4 \\ 17/4 \end{bmatrix}$$

La solución $v = [I - \beta P]^{-1} q$ está dada por

$$v = [15.54, 17.54, 18.25, 19.75, 20.75]^t$$

Puede observarse de la tabla 4, que la política no es óptima y que debe reemplazarse por

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	2	3	3	4	4

con matriz de transición y vector de beneficios

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 4/3 \\ 17/6 \\ 7/2 \\ 9/2 \\ 17/4 \end{bmatrix}$$

34

donde $y = [I - \beta P]^{-1} q$ está dado por

$$y = [18.09, 19.59, 20.96, 21.96, 22.28]^t$$

y se observa de la tabla 4 que la política debe reemplazarse por [2, 3, 3, 4, 5] que puede verificarse es la política óptima.

b. Aplicación del método de aproximaciones sucesivas.

Considere la ecuación recursiva de la programación dinámica correspondiente al proceso markoviano con ganancias asociado al problema de asignación:

$$v_i(m) = \max_k \left[q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 P_{ij}^k v_j(m-1) \right] \quad i=1, \dots, 5$$

donde k es la política de asignación de agua y tiene como valores $k = 1, 2, 3, 4$ y 5 correspondientes a extraer $0, 1/4, 1/2, 3/4$ y 1 , respectivamente, del vaso. En esta ecuación $\beta = 0.83$ y los valores de los beneficios inmediatos q_i^k así como las probabilidades de transición P_{ij}^k asociadas con cada política se muestran en la tabla 1.

El proceso de solución directo de las ecuaciones recursivas anteriores se denomina método de aproximaciones sucesivas y representa una alternativa para la solución del problema de asignación. En la tabla 3 se muestran los valores de los beneficios esperados en m etapas para cada uno de los estados iniciales del vaso, esto es, los correspondientes valores $v_i(m)$ para $i=1, 2, 3, 4$ y 5 y $m = 1, 2, \dots$. En dicha tabla se observa la convergencia de estos valores y la correspondiente política óptima.

c. Aplicación del método modificado de aproximaciones sucesivas

Considere las ecuaciones recursivas modificadas de la programación dinámica correspondiente al proceso markoviano con ganancias asociado al problema de asignación:

$$v_i(m) = \max_k \left[q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j(m-1) \right]$$

$$v_i(m) = \max_k \left[q_i^k + \beta \sum_{j=1}^{i-1} p_{ij}^k v_j(m) + \beta \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j(m-1) \right]$$

donde $i=2,3,4,5$ y k es la política de asignación de agua cuyos valores 1,2,3,4 y 5 corresponden a extracciones 0, 1/4, 1/2, 3/4 y 1, respectivamente. En esta ecuación $\beta = 0.83$ y los valores de los beneficios inmediatos q_i^k así como las probabilidades de transición p_{ij}^k asociadas con cada política se muestran en la Tabla 1.

En la Tabla 4 se muestran los resultados del método modificado de aproximaciones sucesivas, también denominado método de Gauss-Seidel debido a su semejanza con el correspondiente método de solución de ecuaciones lineales. La tabla muestra los valores óptimos esperados asociados con cada etapa y cada estado, esto es, $v_i(m)$ para $i=1,2,3,4$ y 5 y $m=1,2,\dots$. Así como las correspondientes políticas óptimas.

Tabla 3. Método de aproximaciones sucesivas

Etapa	Valores óptimos para cada estado					Política óptima para cada estado *				
	$v_1(m)$	$v_2(m)$	$v_3(m)$	$v_4(m)$	$v_5(m)$	$k_1(m)$	$k_2(m)$	$k_3(m)$	$k_4(m)$	$k_5(m)$
0	0	0	0	0	0					
1	1.67	3.33	3.83	4.5	5	4	4	4	4	5
2	4.17	5.67	6.73	7.73	8.23	2	3	3	3	5
3	6.41	7.91	9.21	10.21	10.71	2	3	3	4	5
4	8.37	9.87	11.24	12.24	12.74	2	3	3	4	5
5	10.03	11.53	12.92	13.92	14.42	2	3	3	4	5
6	11.41	12.91	14.31	15.31	15.81	2	3	3	4	5
7	12.56	14.06	15.46	16.46	16.96	2	3	3	4	5
8	13.51	15.01	16.41	17.41	17.91	2	3	3	4	5
9	14.31	15.81	17.21	18.21	18.71	2	3	3	4	5
10	14.96	16.46	17.86	18.86	19.36	2	3	3	4	5
13	16.34	17.84	19.24	20.34	20.74	2	3	3	4	5
16	17.12	18.62	20.02	21.02	21.52	2	3	3	4	5
19	17.58	19.08	20.48	21.48	21.98	2	3	3	4	5
22	17.83	19.33	20.73	21.73	22.23	2	3	3	4	5
25	17.98	19.48	20.88	21.88	22.38	2	3	3	4	5
26	18.06	19.56	20.96	21.96	22.46	2	3	3	4	5
30	18.10	19.50	21.00	22.00	22.50	2	3	3	4	5

* $k_i(m)$ es la política que maximiza $q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j(m-1)$

d. El método de programación lineal

Considere la ecuación recursiva de la programación dinámica correspondiente al proceso markoviano asociado con el problema de asignación

$$v_i(m) = \max_k \left[q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 P_{ij}^k v_j(m-1) \right] \quad i=1, \dots, 5$$

donde k es la política de asignación y tiene como valores k=1,2,3,4 y 5 correspondiente a extraer 0,1/4,1/2,3/4 y 1, respectivamente. Considerando que $v_i = \lim_m v_i(m)$ (i=1,2,3,4,5) existe se observa que en el límite lo que se desea es encontrar v_i^* (i=1,2,3,4,5) tal que

$$v_i^* = \max_k \left[q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 P_{ij}^k v_j^* \right]$$

que equivale a

$$v_i^* \geq q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 P_{ij}^k v_j^* \quad (a)$$

para todo k = 1,2,3,4, y 5.

Una manera de resolver este problema es resolviendo el problema lineal

$$\min z = \sum_{i=1}^5 v_i^*$$

sujeto a las restricciones lineales (a). La solución de este problema se tiene en la siguiente hoja y puede observarse del valor de las variables duals que la política óptima coincide con las obtenidas anteriormente.

Tabla 4. Método de aproximaciones sucesivas (Gauss-Seidel)

Etapa	Valores Óptimos para cada estado					Política Óptima para cada estado				
	v ₁ (m)	v ₂ (m)	v ₃ (m)	v ₄ (m)	v ₅ (m)	k ₁ (m)	k ₂ (m)	k ₃ (m)	k ₄ (m)	k ₅ (m)
0	0	0	0	0	0					
1	1.67	4.02	5.64	7.24	8.79	4	4	5	5	5
2	5.24	7.50	9.19	10.99	12.52	2	2	4	4	5
3	8.20	10.45	11.95	13.71	14.97	2	2	3	4	5
4	10.56	12.63	14.13	15.73	16.79	2	2	3	4	5
5	12.38	14.30	15.80	17.26	18.18	2	2	3	4	5
6	13.76	15.56	17.06	18.41	19.23	2	2	3	4	5
7	14.81	16.53	18.03	19.29	20.03	2	2	3	4	5
8	15.61	17.25	18.75	19.96	20.64	2	2	3	4	5
9	16.22	17.81	19.31	20.46	21.10	2	2	3	4	5
10	16.68	18.24	19.73	20.66	21.45	2	3	3	4	5
13	17.51	19.04	20.48	21.53	22.08	2	3	3	4	5
16	17.98	19.39	20.81	21.83	22.35	2	3	3	4	5
19	18.04	19.55	20.96	21.97	22.48	2	3	3	4	5
22	18.12	19.62	22.03	22.53	22.53	2	3	3	4	5
25	18.15	19.65	22.05	22.05	22.56	2	3	3	4	5
28	18.16	19.67	22.07	22.07	22.57	2	3	3	4	5
30	18.17	19.67	22.07	22.07	22.57	2	3	3	4	5

***** EQUATION LISTING *****

KEY TO COLUMN HEADS (SEE SUBROUTINE FOR EFFECTIVE VALUES)

Y : FIXED VARIABLE 1 : PLUS VARIABLE WITH NUMBER(S)
 P : PLUS VARIABLE 2 : MINUS VARIABLE WITH NUMBER(S)
 M : MINUS VARIABLE 3 : VARIABLE IS TARGET NUMBER
 F : FREE VARIABLE 4 : VARIABLE IS OBJECTIVE NUMBER

Eq	Y	GE	Eq	Value	Variable	Value	Variable	Value	Variable
Z0	FR	1	1.000000000	F V1	1.000000000	F V2	1.000000000	F V3	1.000000000
	RHS LO:	-INF							
	RHS UP:	+INF							
P1	GE	2	.861600000	F V1	-.276600000	F V3	-.276600000	F V4	-.138400000
	RHS LO:	0.000000000							
	RHS UP:	+INF							
P2	GE	3	.861600000	F V1	-.276600000	F V2	-.276600000	F V3	-.138400000
	RHS LO:	1.333300000							
	RHS UP:	+INF							
P3	GE	4	.585000000	F V1	-.276600000	F V2	-.138400000	F V3	
	RHS LO:	1.166700000							
	RHS UP:	+INF							
P4	GE	5	.303300000	F V1	-.170000000	F V2			
	RHS LO:	1.666700000							
	RHS UP:	+INF							
P5	GE	6	-.170000000	F V1					
	RHS LO:	-.333300000							
	RHS UP:	+INF							
P6	GE	7	.861600000	F V2	-.276600000	F V4	-.415000000	F V5	
	RHS LO:	-.750000000							
	RHS UP:	+INF							
P7	GE	8	-.138400000	F V1	1.000000000	F V2	-.276600000	F V3	-.276600000
	RHS LO:	0.000000000							
	RHS UP:	+INF							
P8	GE	9	-.138400000	F V1	.773400000	F V2	-.276600000	F V3	-.138400000
	RHS LO:	2.000000000							
	RHS UP:	+INF							
P9	GE	10	-.415000000	F V1	.773400000	F V2	-.138400000	F V3	
	RHS LO:	3.000000000							
	RHS UP:	+INF							
P10	GE	11	-.601700000	F V1	.601700000	F V2			
	RHS LO:	2.166700000							
	RHS UP:	+INF							
P11	GE	12	.861600000	F V3	-.170000000	F V2			
	RHS LO:	-1.944400000							
	RHS UP:	+INF							

P15	LO:	2.500000000					
	UP:	+INF					
P14	GE	15	-.139400000 F V1	-.274000000 F V2	.723400000 F V3		-.139400000 F V4
	LO:	3.333000000					
	UP:	+INF					
P15	GE	16	-.415000000 F V1	-.274000000 F V2	.861600000 F V3		
	LO:	3.333000000					
	UP:	+INF					
P16	GE	17	.861600000 F V4	-.601700000 F V5			
	LO:	-2.500000000					
	UP:	+INF					
P17	GE	18	-.139400000 F V3	1.000000000 F V4	-.601700000 F V5		
	LO:	.833000000					
	UP:	+INF					
P18	GE	19	-.139400000 F V2	.723400000 F V4	-.415000000 F V5		
	LO:	3.250000000					
	UP:	+INF					
P19	GE	20	-.139400000 F V1	-.274000000 F V3	.723400000 F V4		-.139400000 F V5
	LO:	4.500000000					
	UP:	+INF					
P20	GE	21	-.139400000 F V1	-.274000000 F V2	-.276800000 F V3		.861600000 F V4
	LO:	4.333000000					
	UP:	+INF					
P21	GE	22	.170000000 F V5				
	LO:	-3.333000000					
	UP:	+INF					
P22	GE	23	-.139400000 F V4	.300000000 F V5			
	LO:	-.500000000					
	UP:	+INF					
P23	GE	24	-.139400000 F V3	.723400000 F V5			
	LO:	2.333000000					
	UP:	+INF					
P24	GE	25	-.139400000 F V2	-.274000000 F V4	.500000000 F V5		
	LO:	4.250000000					
	UP:	+INF					
P25	GE	26	-.139400000 F V1	-.274000000 F V3	-.274000000 F V4		.861600000 F V5
	LO:	5.000000000					
	UP:	+INF					

END EQUATION LISTING

DATE 20/07/81 TIME 12.22.48

C O S T F U N C T I O N S

VER-III 1.000 PAGE 1

PRINT OPTION = COMPLETE OUTPUT
 NAME = EDIUNICA GRN1 = 70
 DIR = UNINITE CORR =

GRN2 = 100 GRN3 = 1000
 GRN4 = GRN5 =

VALUE OF OBJECTIVE = 100.57993
 RPO0001 = 1.00000 RPO0002 = 1.00000
 RPO0003 = 0.00000 RPO0004 = 0.00000

NUMBER	NAME	TYPE	STATUS	NON-ACTIVITY	SLACK	DIR LOWER	DIR UPPER	VALUE
1	R0	FR	SLACK	100.57993	-100.57993	-INF	+INF	.
2	R1	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	.	.	.
3	R2	GE	BINDING	1.33333	.	1.33333	+INF	-5.07059
4	R3	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	1.00000	+INF	.
5	R4	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	1.00000	+INF	.
6	R5	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
7	R6	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
8	R7	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
9	R8	GE	BINDING	0.00000	.	0.00000	+INF	-3.52116
10	R9	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
11	R10	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
12	R11	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
13	R12	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
14	R13	GE	BINDING	0.00000	.	0.00000	+INF	-0.13529
15	R14	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
16	R15	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
17	R16	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
18	R17	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
19	R18	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
20	R19	GE	BINDING	0.00000	.	0.00000	+INF	-7.97550
21	R20	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
22	R21	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
23	R22	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
24	R23	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
25	R24	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	0.00000	+INF	.
26	R25	GE	BINDING	0.00000	.	0.00000	+INF	-3.90917

33

```

APR 5 A P M POS/00.1.4 L.518+095 30-14Y-01
12.22.40.MIADICE FROM ZAD
12.22.40.IP 00000512 WORDS - FILE INPUT * 00 04
12.22.40.MIADICE STRIG.
12.22.43.ACCOUNT....
12.22.43.COPYCD,INEXT,TAP#1.
12.22.44.FILE OPENED - TAPE1
12.22.44.ATTACH,APFX,DDPAPEX,IO=SYS,MI=1.
12.22.44.AT CY= 001 SP=PF50T
12.22.44.DFL*100000.
12.22.44.APFX(SOLVE,MIN,ED)
12.22.43. *****
12.22.43. ** G-O-C /PEX-III **
12.22.43. ** WITH MIN OPTION **
12.22.43. ** WITH REDUCE OPTION **
12.22.43. *****
12.22.49.FILE OPENED - OUTPUT
12.22.53.FILE OPENED - ADDRESS
12.23.05. END APFX
12.23.05. 1.402 CP SECONDS EXECUTION TIME
12.23.05.EXIT.
12.23.05.00 00002304 WORDS - FILE OUTPUT * 00 40
12.23.05.05 3648 WORDS ( 13888 MAX USED)
12.23.05.03A 1.954 SEC. 1.954 ADJ.
12.23.05.10 4.574 SEC. 4.574 ADJ.
12.23.05.04 193.470 KWS. 12.113 ADJ.
12.23.05.55 11.641
12.23.05.22 20.083 SEC. DATE 20/07/91
12.23.05.FJ. END OF JOB, AG

```

40

DATE 20/07/91 TIME 12.22.48 C O L T M I S APEX-III 1.000 2485 1

PRINT OPTION = COMPLETE OUTPUT
NAME = EDIADICA WORDS = 70
MIR = MINIMIZE CORR =
VALUE OF OBJECTIVE = 102.57413
CORR = 1.0000 WORDS = 100000
MIR = 1.0000 CORR = 0.0000

NUMBER	NAME	TYPE	STATUS	COL. ACTIVITY	OBJ. COEF	BDL. LAYER	BDL. UPPER	INITIAL
1	V1	FR	ACTIVE	10.17000	1.00000	-INF	+INF	.
2	V2	FR	ACTIVE	10.47000	1.00000	-INF	+INF	.
3	V3	FR	ACTIVE	21.00000	1.00000	-INF	+INF	.
4	V4	FR	ACTIVE	22.00000	1.00000	-INF	+INF	.
5	V5	FR	ACTIVE	22.57000	1.00000	-INF	+INF	.

A. Convergencia de los métodos de solución

Considere el espacio de matrices de orden $m \times n$ cuyos elementos son reales y suponga que introducimos el concepto de distancia en este espacio por medio de la norma

$$\|P\| = \max \left\{ \sum_{j=1}^n |P_{ij}| ; i=1, \dots, n \right\}$$

Si $p = [P_{ij}]$ es una matriz de transición se tiene que $\|p\|=1$. Asimismo, si p^m es la matriz de transición de m pasos sabemos que $\|p^m\| = 1$. Sin embargo, si $0 < \beta < 1$ es un factor de descuento, la matriz $(\beta p)^m$ satisface $\|(\beta p)^m\| = \beta^m$ y se implica

$$0 = \lim_m \|(\beta p)^m\|$$

que equivale a $0 = \lim (\beta p)^m$. Como consecuencia tenemos:

Proposición 1: Sea P matriz de transición y $0 < \beta < 1$ factor de descuento. Entonces la matriz $[I - \beta P]$ tiene inversa y

$$[I - \beta P]^{-1} = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P)^i$$

Prueba. Empezaremos por hacer notar que

$$I - (\beta P)^N = [I - \beta P] \sum_{i=0}^{N-1} (\beta P)^i = \sum_{i=0}^{N-1} (\beta P)^i [I - \beta P]$$

De donde al N tender a infinito se tiene que $(\beta P)^N$ tiende a (la matriz) cero y la inversa de $[I - \beta P]$ es como se postuló.

Considere la formula recursiva

$$(1) \quad U(m) = \max_k \left[q^k + \beta p^k U(m-1) \right] \quad m=1, 2, \dots;$$

donde p^k es la matriz de transición asociada a la política k ; q^k es el vector de beneficios inmediatos asociado a la política k ; y, $0 < \beta < 1$ factor de descuento. Supongamos que se adopta una política de decisión fija para todas las etapas de la ecuación recursiva. Entonces dicha ecuación se reduce a

$$U(m) = q + \beta P U(m-1)$$

para toda m . Sin embargo, esto equivale a

$$U(m) = q + \beta P U(m-1)$$

$$U(m-1) = q + \beta P U(m-2)$$

$$\vdots$$

$$U(1) = q + \beta P U(0)$$

y se tiene que

$$U(m) = q + (\beta P)q + (\beta P)^2 q + (\beta P)^3 q + \dots + \\ = [I + \beta P + (\beta P)^2 + (\beta P)^3 + \dots] U(0)$$

pero, debido a la proposición 1, podemos implicar que

$$U = [I - \beta P]^{-1} q$$

donde $U = \lim U(m)$.

41

a. Convergencia del método de Howard

Uno de los aspectos fundamentales para resolver la ecuación recursiva de la programación dinámica con este método es que para toda iteración se requiere calcular

$$[I - \beta P]^{-1}$$

donde P es la matriz de transición que se supone óptima y $0 < \beta < 1$ el factor de descuento. La existencia de la inversa de $[I - \beta P]$ justifica cada paso del método y su terminación es tá garantizada porque el número posible de matrices de transición distintas es finito.

b. Convergencia del método de aproximaciones sucesivas

Considere la fórmula recursiva (1) como sigue:

$$TV = \max_k [q^k + \beta P^k v]$$

esto es, $T: R^n \rightarrow R^n$ es un mapeo definido por una operación de maximización. En este mapeo se cumple que para algún valor de K, denotado k , se adquiere el máximo, esto es,

$$T(v) = q^k + \beta P^k v$$

debido a que el número de políticas de decisión es finito.

La propiedad básica del mapeo $T(v)$ queda resumida en:

Proposición 2. Considere el mapeo

$$Tv = \max_k [q^k + \beta P^k v]$$

donde P^k matriz transición asociada a la política k ; q^k vector de beneficios inmediatos asociado a k ; β factor de descuento ($0 < \beta < 1$); y v vector columna de n componentes. Entonces T es un mapeo de contracción.

Prueba. Dados u y v sabemos existen k_1 y k_2 tales que

$$Tv = q^{k_1} + \beta P^{k_1} v ; Tu = q^{k_2} + \beta P^{k_2} u$$

Asimismo, se observa que

$$Tv - Tu = \max_k [q^k + \beta P^k v] - q^{k_2} - \beta P^{k_2} u$$

$$\geq q^{k_2} + \beta P^{k_2} v - q^{k_2} - \beta P^{k_2} u = \beta P^{k_2} [v - u]$$

Por otra parte $Tu - Tv \geq \beta P^{k_1} [u - v]$ y se concluye que

$$\beta P^{k_1} [v - u] \geq Tv - Tu \geq \beta P^{k_2} [v - u]$$

Sin embargo $\|\beta P^{k_1} [v - u]\| = \beta \|v - u\|$ para $k=1,2$. (usando la norma $\|x\| = \max\{|x_i| ; i=1, \dots, n\}$). Por lo tanto se tiene que $\|Tv - Tu\| \leq \beta \|v - u\|$ y T es una contracción.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

THE SYSTEMS/ PARADIGM CRISIS AND THE EMERGENCE OF NEW FRAMES:

SYSTEMIC-NETFIELDS

ING. RAUL CARVAJAL

NOVIEMBRE, 1984

THE SYSTEMS' PARADIGM CRISIS AND THE EMERGENCE OF NEW FRAMES:
SYSTEMIC-NETFIELDS

Raúl Carvajal
Institute for Applied Mathematics and
Systems
National University of Mexico
IINAS-UNAM
Apdo. Postal 20-726
México 20, D.F.
MEXICO

Abstract

A methodology for the detection of emerging paradigms is developed through the analysis of implicit and explicit criticisms. The search for the systems' paradigm reveals a set of systems frames at different stages of development. Four basic assumptions that underly most systems frames and limit their use in the research, design, planning, and management of social systems are identified. A set of frames that may advance the systems movement are proposed. They are enclosed under the name of systemic-netfields and provide a link between systems and networks, aggregates, and fields.

1
I. Introduction

Determining the present state of the systems paradigm and possible new paradigms requires an understanding of development processes of new areas. It is accepted that new areas develop through four stages following a sigmoid curve. The stages are paradigm generation, normal growth, exponential growth and declination [34, 80, 81]. In the model the initial stage is the appearance of a paradigm. Discussion of this phenomenon requires clarification as to the meaning of systems as a paradigm. In general, it can be said that there is no unique system paradigm. There are a set of systems paradigms, each at a different stage of development. The different concepts share some common features. The declination of some of the systems paradigms may be detected through some crisis or criticism that may appear. New concepts frequently develop from existing ones through a dialectical process. A limiting or weak feature in the original concept may begin the process. An antithetic conceptualization is proposed from which a new concept emerges as a synthesis. The emergence of new concepts belong to a general class of processes called "emergent social processes" [40, 77].

The analysis of systems paradigms lead to the generation of new frames that may have important implications for the research, design, planning, and management of social systems.

They are enclosed under the generic name of systemic-netfields. these frames may constitute a needed bridge between systems and networks, aggregates, and fields.

2

II. Systems Thinking.

Systems thinking is usually referred to as systems approach or the use of systems frames. Frame is used in the sense of Minsky [78, 91]. Many interpretations have been given for the so called Systems Approach (SA). Some authors emphasize the object of the inquiry, namely, systems [22, 54, 99]. Others focus on the synthetic nature of the SA, methodology used, or teleological or purposive orientation [25, 28, 36, 52].

A. Systems Approach.

Most of the definitions or conceptualizations of the SA can be described in terms of: structural issues referring to the particular frame used or the specific subject matter; or methodological issues such as the type of approach, method of inquiry or specific procedure.

1. Structural issues.

1.1. Systems frame. In many cases the SA has been taken solely as the use of a systems frame for understanding or tackling problematic situations [18, 27, 54]. In occasions it has been considered as a frame for the unification of many fields of knowledge [54].

1.2. Problematic situation, real world problems. The purpose of inquiry may not be the knowledge of a system but the solution of a problematic situation. A system frame applied to a complex problematic situation provides the basis for conceptualizing them as messes (system of problem) [3].

2. Methodological issues.

2.1. Analysis and synthesis. Analysis is the method of the analytical approach. The framework of the analytical approach is based on the doctrines of reductionism and mechanism. The basic method used in synthetic approach is synthesis. The framework of the synthetic approach is based on the doctrines of expansionism and teleology.

Some conceptualizations of SA uses the analytical way of thinking on systems frames [103]. Others include them together as "an amalgam of the scientific method (analysis) and the method of invention (synthesis)" [61], or as in [28] where the SA is said to provide a strategy for designs (synthesis) and maintenance (analysis).

2.2. Method of inquiry. Statements like "the SA enables man to appreciate his view of social reality by listening to others" [31] implies the use of a systems frame on one hand and a method of inquiry on the other. The multi-disciplinarity of the SA [61] refers to a particular mode of inquiry.

2.3. A procedure. Many references to systems approach are interpreted as specific procedures or methodologies, as in Checkland's procedure: analysis of the situation, "root" definitions, modeling, validation, selection of alternatives, and implementation [25, 26, 27].

3.

As can be seen through the structural and methodological issues, SA may alternatively be described in terms of one or several of the previous characteristics. For example:

- a. The use of system frames (item 1.1)
- b. The use of system frames to deal with problems, i.e., messes (items 1.1, 1.2).
- c. The synthetic mode of thought applied to messes (items 1.1, 1.2, 2.1).
- d. A method of inquiry about messes using the synthetic mode of thought (items 1.1, 1.2, 2.1, 2.2).
- e. A methodology for dealing with problems based on methods of inquiry about messes using the synthetic mode of thought (items 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 2.3).

At the core of the diverse conceptualization of the systems approach is the system frame. It has been stated that the only unifying element of the systems movement is the notion of system [25].

B. System as a paradigm.

The concept system is more general in nature than that of a particular scientific area. As a paradigm it has broader conceptual implications. Sometimes it has been referred to as a meta-paradigm [92].

For the purpose of this work, a paradigm may be interpreted as:

- 1. A special type of "frame" shared by a community.
- 2. One of the requirements for a frame to qualify as a paradigm is that it is adopted by a significant group of researches. A frame may have the potentiality for growing and generating meaningful problems but it may remain latent unless a social process of adoption and diffusion is generated. The development of a paradigm implies existence of specific social structures in each stage of development.
- 3. A frame structures the subject matter, models, theories and stereotypes.
- 4. A frame implies the construction of conceptual and concrete "tools". At the same time, new tools may make possible the construction of new paradigms or the extension of existing ones.
- 5. A frame is organized hierarchically containing subframes.
- 6. Basic assumptions are embedded within a paradigm.

7. A paradigm implies a research program. This program may be directed toward the growth of the frame or toward its use in order to modify behavior and produce some social change. The main intention of the research program may be the generation of knowledge or the production of change.

The concept system provides a framework for conceptualizing or viewing the world. It has been defined in many ways [55]. Definitions such as "a system is a set of related elements" [46]; or "a system is a set of interrelated elements each of which is related directly or indirectly to every other element, and no subset of which is unrelated to any other subset" [1, 2], are generally accepted but are of little interest by themselves.

Usually these definitions are followed by a typology where the researcher's interest is reflected in a specific kind of system. For example, in [1] systems are classified as state-maintaining, goal-seeking, multi-goal seeking, purposive, and purposeful. It may be said that the main interest of the researcher is the study of purposeful systems. Checkland [24] divides systems in natural systems, designed physical systems, designed abstract systems and human activity systems. In [25, 26] he focuses on human activity systems.

Von Bertalanffy [17, 18] stresses the importance of open systems, systems where there is import and export, and therefore, change of the components. He points out the basic properties of systems: equilibrium, self-regulation, equifinality, entropy, growth, information, feedback, etc. His research proposition focuses on the study of these properties, the finding of isomorphisms among systems, the search for common structures and the unity of science. Mesarovic in [74] focus on the study of some mathematical objects called general systems. He formalizes systems concepts such as open and closed systems, structure, decomposition and state of the system, attributes and behaviour of systems, reproducibility and controllability of systems and goal seeking behaviour. The research program implicit in [74] is directed toward areas like control and the formalization of systems concepts and properties. The degree of precision required to manipulate and use such formal systems models are of doubtful interest for the research programs stated by Churchman in [30] or by Checkland in [25].

In general, it can be stated that there is not a system paradigm but several frames at different stages of development. The distinct frames have different degrees of acceptance and evolution. At this point, a frame can be more easily identified by and through the leading researchers in the area and their principal works, than by a collective constructed frame.

Even though the various systems frames, have some relationship between them, their development has been fairly independent in that they have not been based in a common research program or a common frame.

In conclusion, as we can see no archetype system frame which can be taken as "the paradigm", the analysis of the systems paradigm will be done through the identification of the implicit basic assumptions which underly most system frames. The implicit assumptions may be detected through an analysis of criticisms posed to the systems movement.

III. Criticism of the Systems Movement.

Criticism of the system's concept and the systems approach have been numerous. In many cases criticism is direct and readily identifiable [9, 15, 16, 19, 21, 44, 47, 49, 50, 51, 53, 65, 66, 68, 83, 84, 89, 96]. But, frequently criticism is made in an implicit form as in the proposal of a research program that is antithetical to a given systems frame. Without confronting thesis and antithesis it is almost impossible to recognize the criticism implied by the antithesis.

Not all criticism is symptomatic of the emergence or need for a new paradigm. In the analysis of criticism it is necessary to identify what can be called early state criticism and misunderstandings. These recurrent criticisms are successfully resolved early or incorporated in the actual development of

5

the systems frames. Criticisms which result from works of leading researchers are particularly relevant for the analysis of emerging paradigms. Those who generate the main research programs usually have the capability for detecting emerging competing frames. Frequently, new developments are presented to them for recognition and comments. Also, they receive a great deal of the criticism directed against the area. Leading researchers or their students are frequently the precursors of new areas.

The recognition and classification of criticisms in terms of their potential for detecting an emergent paradigm is a complex task subject to the bias of the researcher. For this reason it is considered necessary, to start out by describing the type of criticism which will probably not lead to a new trend: early state criticisms and misunderstandings. They are classified in seven categories:

1. Philosophical status of the systems movement. This kind of criticism usually starts by stating that a given systems movement is rooted on certain philosophical theory.

6

Then, it transfers to the systems movement the criticism against such theory. Examples of this kind are:

"The systems theorists, in striving to be 'scientific' and 'up to date', have incorporated perhaps the most archaic and least tenable features of 19th century thought" [66]; "the weaknesses of Hegelian thought are to some extent the weaknesses of general systems theory" [83]..

2. Holistic approach. An early popular criticism was on the inability of knowing a system as a whole. It is based on the misunderstanding of the expansionism doctrine. Some examples are: "starting with a given problem we shall be ultimately dealing with the entire universe" [89]; "if we take the whole system ideal seriously it appears that we must have full knowledge before we can provide guidelines for inquiry. However, if we have this knowledge inquiry would be unnecessary" [21].

3. Objectivity and scientific status of the systems approach. A recurrent theme is the issue of objectivity. For example: "general systems theory has failed as a scientific theory" [83]; "traditional systems approaches usually

commit two sins: the assumptions that human beings (including scientists) are objective; and excessive reliance on one modeling approach" [67].

4. Modeling. Frequently, it is stated that the construction of models is an intrinsic feature of the systems paradigms. Therefore, criticisms are directed toward the formalization of partially understood situations, the building of models that do not capture the essence of the situation, excessive generality, overspecializations, or overconcern with the model in itself.

5. Incipient state of development. Criticism has been directed toward the lack of integration of the different areas that some authors have included within the systems movement. For example: "the systems approach is a kind of mosaic, made up of bits and pieces of ideas, theory and methodology from a number of disciplines..." [50].

6. Limited application to social systems. Some authors [44, 50] have stated that systems paradigms can not deal with systems of the complexity of social systems.

7. Purpose. An initial criticism was directed to the concept of purpose. For example: "there is no evidence to

support the hypothesis that the Universe has a purpose" [83]. Such criticism has become actual again with the work on autopoiesis. Beer states that one of the reasons why the concept of autopoiesis interests him is that it involves the destruction of teleology [71].

IV. Implicit Criticism: evidence of an emerging systems (?) paradigm.

Different systems frames can emerge not only as a response to critical views posed against systems paradigms, but, also, in order to advance the movement into new frontiers and to overcome limitations that have been expressed exists in different directions of the social area of the systems movement. The issues around which these developments might occur are diverse and sometimes difficult to track. In this section we will concentrate on the most notorious issues.

1. Complexity. Complexity has been an ever present issue in the development of the systems movement. Many criticisms of the systems approach have been directed to the difficulty in dealing with complex situations [44, 49, 51, 107]. The study of complexity requires the understanding of its source. Different typologies have been used in relation with the description of the source of complexity as the one developed by Boulding [20] which can be taken as a description of the complexity of either phenomena or models for analysing these phenomena [87].

A second typology distinguish between complexity which is internal to a system, external to a system, or due to the observer of the system. Trists' concept of turbulent environment [102]

is an example of external complexity.

Pondy and Mitroff [87] state that the rate at which uncertainty overwhelms an organization is related more to its internal structure than to the amount of environmental uncertainty. Foerster [42] states that complexity depends on the perceptive system of the observer.

A third typology is related to the extension of the embedded social system which ranges from the individual to the whole society including formal and informal groups, social networks and organizations, and inter-organizational domains created by organizations, whose interrelationship compose a system at the level of the field as a whole [111].

2. Emergent social processes and the genesis of systems.

The study of the genesis of systems and emergent social processes is one of the areas mentioned in relation with futures research and the study of complex social systems. Emergence refers to unanticipated characteristics of superordinate regulative processes that grow out of the circumstances that were there before they came to be. Emergent properties can not be predicated from the parts, they are the synthesis between thesis and antithesis. New myths may generate new forms of regulative stability that characterize the way our epoch is emerging. New theory, new art, mutations are exam-

8

ples of emergent processes that generate high turbulence. An emergent social system coexists with other systems. An emergent social system may arise out of temporary systems conditions that engender it. An ideal systems frame where the states are mutually exclusive or systems are permanent entities possesses limitations for use in the study of emergent social processes and the genesis of systems.

3. Culture. Within the systems movement several authors have pointed out the need for understanding culture. Vickers [106] strongly indicates the need for a cultural revolution. Ackoff [4] points out that the main obstructions for development are cultural ones. Trist [101, 102] refers to a paradigm shift that is changing our cultural fabric, shifts occur due to a change from a disturbed reactive environment toward a turbulent environment where: the systems survival mode is shifting from operations toward a negotiated order; power structure is shifting from a concentrated to dispersed pattern; the basis of order is shifting from hierarchical to sociological; planning orientation from preactive to interactive; learning mode from model 1 to model 2; organizational structure from bureaucratic toward holographic; design principle from redundancy of parts toward redundancy of functions. Schwartz and Ogilvy states that "a fundamental shift in basic beliefs and assumptions about the nature of things and the human condition is going on". An emergent pattern is occurring in different areas: physics, chemistry, brain theory, ecology, evolution, mathematics, philosophy, politics,

psychology, linguistics, religion, consciousness, and arts. The emergent pattern is being manifested in a shift of qualities from simple and probabilistic toward complex and diverse; from hierarchy toward heterarchy; from mechanical toward holographic; from determinate toward indeterminate; from linearly causal toward mutually causal; from assembly toward morphogenesis; from objective toward perspective [110]. Pondy and Mitroff [87] are proposing the development of a cultural model of organization that take into account the complexity of social system. Clark [33] proposes the study of organizational sagas, reconstruction of organizational history that stresses its origins, its triumphs and its tangible symbols. These issues imply the study of emergent processes, of the genesis of systems, and of some specific factors such as language and myths.

4. Language. Language plays at least four important and distinct roles in social behavior: it controls our perception, it helps to define the meaning of our experience by categorizing streams of events, it influences the ease of communication, it provides a channel of social influence. Possession of a common language facilitates the exercise of social control [86]. Language helps to mold the social fields through perception and communication of values that conform social reality. Also, language is affected by the social field where it is embedded.

The study of language involves the description of complicated social fields, a description that requires the use of more flexible systems frames than the ideal "well-behaved" frame.

5. Values and myths. Values and myths provide a reference of what is naturally expected, according to how people would act. People want reassurance that what they think is natural and right, and what they think is natural and right has to do with the myths to which they subscribe regarding reality, self and their relationships [77]. Change in a social system may be accomplished through a change in its values and myths. Myths, stories, and metaphors provide powerful vehicles in organization for exchanging and preserving rich sets of meanings [33, 76, 79]. Through norms, values, and myths, systems that are loosely coupled may act in a unified form in crisis situation. The study of values and myths require frames capable of describing loose coupling and temporary systems.

6. Critical situations. Under conditions of natural disaster, or extreme opportunity organizations reveal an inner part of their structure.

Individuals and groups usually adopt latent forms of behavior. Weick has stated that the complexity of a system may be altered by deprivation in the sense that the number of elements and the number of relationships that exist may be greatly reduced [107]. Thompson has recognized the existence of "synthetic" organizations that arise in response to disasters [100]. The study of such situations require alternative concepts to the usual permanent, well-behaved, mutually exclusive states systems ideal frames.

7. Planning and management. Planning ought to be a way of using complexity to enrich rather than to destroy. Some planning efforts should be geared toward increasing turbulence in order to open up unpredictable possibilities which may lead to further human development by decreasing gratuitously containing stability [77].

In order that planners and systems analysts can deal with complexity they must learn the myths relevant to the constitutions of the social reality. A crucially important role for the analyst and designer is the creation of potentially stabilizing myths, but in a temporary form [77].

The administrator's role shifts from technologist to linguist, from structural engineer to myth maker [87]. A movement toward designing a desirable future and inventing ways of bringing it about [7] can be seen within this new role.

8. Autonomy. The study of autonomy has regained an important place within the systems movement with the work of Naturama and Varela [71]. Autonomy is the assertion of the system's identity through its internal functions and self-regulation. It brings together related concepts such as self-organization, cooperative interactions, emergence, and innovation [105]. Autopoiesis describes the autonomous character of living things. An autopoietic machine is an homeostatic system which has its own organizations as the fundamental variable which it maintains constant. Autopoietic machines are autonomous, have individuality, are unities, do not have inputs or outputs. Autopoiesis is necessary and sufficient to characterize the organization of living systems. Systems which exhibit autonomy share one universal feature: organizational closure, i.e., indefinite recursion of component interaction.

10

This line of research requires a deeper understanding of the inner regulating mechanism of systems and presents an interesting perspective about the question of the reality of systems.

9. Reality of systems, artificial reality. Asserting that a given ensemble or entity is a system in an assumption [107]. Are systems out there, or are they in the minds of systems planners? The most plausible answer is none of the above. The way the world appears to us depends on our basic theory about the structure of the world. To inquiry we must construct a theory of reality which will then guide us in the observation we make, which in turn will guide us in the revision of our theory of reality [32].

In social systems, the status of a system, such as an organization, shifts from that of an objective reality to one which is a socially constructed reality. The reality of the behavior of individual or groups is a product of the perception of these elements. By the act of believing, they are partially creating a social reality. The creation of norms, values and myths are acts that modify social reality.

Properties that were thought to reside in objects are becoming recognized as properties of the observer. Complexity is highly dependent on the perceptive system of the observer. Foerster [42] states that the old paradigm was the management of observed systems. The new paradigm is the management of observing systems.

The study of this type of phenomena is closely related to the previous topics that are generating the need for different systems frames.

10. Systems pathology. The study of systems pathology has been proposed in relation to social systems. Pondy and Mitroff stated the need for developing a theory of error, pathology and disequilibrium in organizations [87]. The recognition of pathology requires the recognition of normalacy, and thereby, deviant behavior. Normalacy implies a kind of functional behavior and/or value judgement and is usually judged in relation to an ideal frame.

Systems pathologies in great part refer to some specific systems frame. One phenomenon that is often seen as a pathology or undesirable behavior is conflict and the exercise of power within social systems.

11. Power. Much criticism against the systems movement is directed toward the neglect of the variable power [19, 21]. Bryer [21] states that systems analysis has ignored variables which could prove to be crucial such as those involved in social problems that are culture-bound, value-laden, and honeycombed within a political power network. The study of power generates strong reactions within the systems movement. Churchman [32] states that an enemy of the systems approach is the political approach. On the other hand, Benveniste [14] says that a new social role combining political and technical dimensions is needed. The absence of research on power in social systems may be due to the association between power and political maneuvering, manipulation and intrigue. These associations have caused, and rightfully so, a strong reaction such as the one expressed by Eilon [39].

Taking power as the ability of a system to fulfill its purposes and functions, there is an implicit concept of power in each level of Bouldings' typology. For example, clockworks have a device embedded within them which is capable of realizing the functions of the system i.e. a winding

(12)

mechanism. Open systems which process inputs into outputs require a power source to effect transformation. Living organisms have complex processes which transform energy into movement. Multi-cephalus systems have a power concept embedded in them which has one peculiar characteristic: one element can use another element as its tool. This characteristic has had such strong implications that one of the most common definitions of power in social systems is not the ability to produce a desired change, but the ability of making an individual do what one desires. To produce changes, maintain their internal stability, perform their different functions systems must exercise power and control. Holistic systems frames can be thought of as containing an implicit holistic concept of power, a type of omnipotence ideal [65]. The study of power requires a frame that can describe conflicting behavior among system components which would be somewhat different from the "well-behaved" frame.

V. Limiting Assumptions Implicit in Systems Frames.

To understand the implication of conceptualizing an entity as a system it is necessary to identify the basic assumptions which underly most systems frames. The set of assumptions that are important to the present study are those which have implicit limitations for the study of social systems.

The search for such assumptions was done through the analysis of possible new avenues of the systems movement, and direct criticism raised against systems frames. In this section the integration of both aspects is presented. Four basic limiting assumptions have been identified: tight relationships, well behaved components, mutually exclusive states, and permanency.

1. Tight relationships. As the components are more "tightly coupled", more interdependent, the object is more "systemic", in that, it fits better a system frame ideal. As the components are more "loosely coupled" the systemic property is weaker. The paradox of a perfectly coupled system underlies many system frames. It is a paradox because the limiting case of a tight system is no longer a system, it is an object.

or the kidneys trying to take over the brain, it is difficult to treat conflict between components as other than abnormal behavior.

Within the "well-behaved" stereotype, it is difficult to determine when an element is a component. How long and how much must an element contribute to the whole in order to qualify as a component?. Does it matter that the element is obliged to make its contribution?. Can we imagine a component trying to subvert the systemic order? (eventhough it happens frequently in social systems, sometimes with the help of a systems approacher). Does this stereotype have implicit a "brave new system" ideal?

3. Mutually exclusive states. Weick [107] has pointed out that conceptualization of biological and physical entities as systems has proven to be a workable model of reality partly because many of the variables have mutually exclusive states.

But entities such as psychological ones often have states that are coexistent. For example, a model of obesity suggests that in every adult there may reside an inner fat person eventhough the exterior form may be thin. A person

is at an intersection of many states on different occasions. The possibility that multiple states exist simultaneously for a single psychological variable is plausible because actors remember, perceive, and anticipate.

The assumption of mutually exclusive states implies, not only, a definite state for variables and components, but also, for the whole system. The idea that there may be a potential system within other systems or entities is ruled out within this stereotype making it difficult to conceptualize phenomena such as the emergence or genesis of social processes.

4. Permanent system. The maintenance of its internal structure is one of the basic characteristics of a system. Systems, and especially man-made systems, are frequently viewed as permanent entities whose disappearance is a failure of design or structure. A permanent system does not necessarily imply a static structure. There may be a dynamic change process but geared toward the maintenance of the identity of unity of the system. Survival is a key objective.

Within this stereotype, it is difficult to conceptualize system that get transformed into other entities such as networks. The growth and separation of a component is a traumatic experience and is frequently interpreted in terms of the failure of the system to provide adequate conditions for component development, or as a deviant act of either ambition or ingratitude on the part of the component. Systems that exist only in temporary conditions are considered to be in a state of immaturity.

In the systems literature, temporary systems have been recognized or conceptualized as the so called task or mission oriented groups, as basic parts in project, matrix or multidimensional organizations [5, 35, 93]. Thompson [100] has labeled "synthetic organizations" as those which emerge to overcome the effects of large scale natural disasters in communities. When normal organizations are immobilized by a sudden disaster, the synthetic organization rapidly develops a structure where coordinated action can get the job done. He states that they are inefficient because they must simultaneously establish structure and carry on operations. But what happens when these organizations are dissolved? Is all the energy spent in their temporary organization lost? Holling [48] reflecting on how systems persist in response to

30

(16)

grave fluctuations gave the example of the Managua earthquake "Police did not function, communication was cut, and so on. Nevertheless, the system persisted because people were able to draw support from the remnants of their extended family" They created a synthetic organization where people learned to deal with disasters and learn to organize themselves. It would not be surprising if there was a connection between the earthquake and the revolution that took place later. Perhaps the synthetic organization did not disappear after all.

There are some questions that are very unlikely to arise within this stereotype:

- a) How does an entity transform itself into a system?
- b) When may a crisis collapse a system?
- c) When may a crisis strengthen a system?

(17)

VI. Systemic-Netfields.

The identification of these four limiting assumptions provided the basis for the analysis of systems paradigms. A strategy for the generation of alternative frames is through the identification and modification of limiting assumptions. Therefore, in this section a proposal for the development of some apparently new frames will be made. Three concepts, enclosed under the generic label of systemic-netfields, are advanced. They are the following: systemic-networks, systemic-aggregates, and systemic-fields.

1. Systemic-networks. The relationship between networks and systems has been recognized for some time. Trist [101] refers to "temporary systems arising from networks". In social anthropology concepts such as quasi-groups and action-sets [72] which have system (or group) properties and network (or association) properties have been developed.

A systemic-network is a network with the capability of becoming a system and a system with the capability of becoming a network when specific conditions arise. The systemic and network status coexist in a systemic-network. Its potential lies in its capacity for choosing the appropriate degree of "systemicity". If a network capability

for transformation into system and a system ability to transform into a network is partial, then we will consider it a partial systemic-network.

The definition of systemic-network can be derived from the description of a social network. A network in general is considered to be a graph (set of nodes and arcs) with a certain type of flow in its arcs. A social network frame focuses attention on relationships (arcs) between people (nodes). Within this frame it is assumed that a person's social conduct, decision processes, orientation and attachments can be understood within the context of his network relationships. Anderson and Carlos [8] state that social network theory, if it amounts to anything, contains the following elements: a concept which focuses on the individual social agent; a web of interconnected individuals who use their linkages to transmit their expectations, affect, and sentiments and to transact their social affairs; a set of behavioral mechanisms involved in the conduct of network relations; a loosely structured framework for examining the dynamics of the network; and a set of empirical and analytical techniques.

(18)

The definition of system as a set of interrelated elements encloses the definition of a network. Networks have been referred to as unbounded systems [10]. The main differences between a system and a network are: the concept of unity and wholeness and the "tightness" of their elements.

A systemic-network may be transformed from a network into a system by threatening situations or extreme opportunities. A social network is not necessarily a systemic-network if it lacks the capability for becoming a system. A temporary system that preserves the capability for becoming a system through time is a systemic-network. The study of systemic-networks requires the recognition of its present status of integration. A researcher who studies an organization, which under crisis situation behaves as a tight system, may have a completely different description when the organization is in a network or systemic-aggregate (see VI-2) condition.

Design of a systemic-network poses an entirely different problem than the design of a system. The purpose of a systemic-network design is not only to attain a given objective but to create a coexisting system-network and to determine the appropriate degree of systemicity for different situations.

34

Elements of a systemic-network may be individuals, systems or other systemic-networks. There may be a systemic-network embedded in a supra systemic-network.

2. Systemic-aggregates. A systemic-aggregate is closely related to a systemic-network. The difference is the existence of a support system. A systemic-aggregate is a set of elements with a common support system that enables the elements to grow and survive. A systemic-aggregate has two limiting conditions: a system, and an aggregate of parts with a common support system. Both conditions coexist simultaneously.

In the aggregate conditions, the common objectives of the parts is the preservation of the support system. This objective may be stated as the creation of a situation where each and all members develop as they please. The common support system requires cooperative behavior which may range from little cooperative activity by the elements, to a total redirection of their activities to serve the whole. When all components behave mainly in the interest of the whole the systemic aggregate is in system condition. Such situations may arise when there is a common threat.

A referent organization could be an example of a support-system in a systemic-aggregate. This type of organization is critical for the development of organizational domains. They have three functions: regulation of present relationships and activities, establishing ground rules and maintaining base values; appreciation of emergent trends and issues, developing a shared image of a desirable future; infrastructure support which entails information sharing, special projects, resources, etc. [112]. A family could be another example of a systemic-aggregate. Through growth, there may be separation of parents and sons and therefore become a systemic-network. A university can be conceptualized in a more natural way as a systemic-aggregate than as a system. The conceptualization of a university as a system has caused much frustration to systems thinkers. Schools, taken as components within a university, seem uninterested in cooperation above a minimal level. They resist change toward a cooperative state that would require a redirection of their activities. Universities have been compared to graveyards since both of them grow in the same way and remain un-changed for the same reason. Loosely coupled (45, 108) and temporary systems may be examples of systemic-aggregates, providing they have a support system common to all components.

3. Systemic-fields. The concept of systemic-field draws largely from the works of Lewin (64) and Emery and Trist (40).

(19) Lewin's field theory views change as the result of the alteration of existing field forces which unfreeze the system and produce a locomotion or change in position in the field until a new equilibrium is reached refreezing the system or pattern. An increase in one of the forces does not necessarily generate a change. It may be countermanded by other forces at a higher level of tension. The ideas of Lewin have been used to describe the social-psychological space of an institution. Field forces and tension systems have also been used to describe the social influence process. The power of one person over another is related to the strength of the force field which he can induce over the other person.

De Greene (36) states that among the properties of socio-technical fields are: the magnitude, directions and point of application of the forces; the thresholds above which a change is produced as well as the level of satiation of the forces; gradient or forces of attraction that values or goals may exert; inertia and momentum of the elements of subsystems. He states that the challenge of systems science is "the discovery of the means of sensing, identifying, describing, measuring, predicting and controlling the changes that lead to a restructuring of the socio-technical systems fields".

A systemic-field frame tries to describe systems whose components are in a state of dynamic equilibrium. The limiting

cases of a systemic-field are a well-behaved system on one hand and aggregate of conflicting elements on the other.

3.1. Elements and properties. The elements or components of a systemic-field are: individuals, systems, networks, systemic-networks, systemic-aggregates, or even systemic-fields.

Three basic properties are present among the elements:

- a. Force. An element's force is related to its ability to produce a desired outcome, change or locomotion. In this context, force includes the different aspects of social influence.
- b. Field. The degree in which an element or event influences the behavior of other elements is a measure of the magnitude of its field. A field may be produced by goals or values or by elements which are perceived as capable of exerting a powerful force. The valence of the field in relation to an element is the perception on its orientation as positive, neutral, or negative toward the element.
- c. Tension. The tension level of an element is the result of the exertion of the different forces and the presence of fields upon the structure of the element.

3.2. Characteristics of systemic-fields. Some characteristics of systemic-fields are the following:

- a. Perceptive elements. A systemic-field has components which are capable of reflexion, perception, and anticipation. A component may react to a force or to the belief in the existence of a force. The perception of a force may be based on past behavior or conceptual models that make the interpretation of language, signs and symbols possible. An element may modify its behavior due to its belief, regardless of the reality of the force or field. If an element is perceived as capable of exerting a great force or influence, then its intentions will be of much interest.
- b. Changing nature of elements. If a small force is exerted on an individual element then it behaves as an individual providing it can manage the situation. If the magnitude of the force is so big that an individual finds defense impossible, then the individual element may produce a systemic-network or system response to protect itself. The structure of the responding element may change due to the perception of the magnitude of the force exerted upon it. Also, the perception of the structure of the

source of the force modifies its response. If an element believes that the source is a systemic-network, the likely implication is that it is much more difficult to oppose than an individual element.

- c. Tension level. The tension level of an element of a systemic field is a function of the fields, forces acting upon it, and its internal structure. In a state of equilibrium the tension level must be below a critical value called the fragility level. If the tension level raises above its fragility level then the element collapses or dissolves. The most viable elements may then be incorporated in other entities such as systemic networks or systems.

Conflict may be conducted in a systemic-field within limits that do not reach the fragility level. A higher level component may instigate limited conflict among lower level components.

- d. Valence. An element may perceive another component as positive, neutral or negative. That is, if it is perceived as positive then the development of the component benefits the element. In general, an element will resist or oppose

(21)

the development of the components that are perceived as having a negative valence.

- e. Performance and coordination. The realization of tasks or actions in general require the exertion of a force, the potential for exerting a force, or a potential for modifying the field. Coordination of activities requires the ability to modify the behavior of deviant elements.

VII. Conclusions

1. Through the analysis and synthesis of criticism raised against existing frames a methodology for the detection of new trends can be developed which could imply the need for the modification of the existing paradigm. This methodology may be improved in several ways. For example, a more detailed study of the social structure of the area could be made using variables such as coauthorship, citation and cocitation indexes, and relationships such as thesis director, colleagues, membership in societies, etc. Also, a further analysis of the intellectual development could be done consulting the expert opinion of leading researchers of the area. Eventhough the present study omits such avenues, it is felt that the methodology provides a good basis for the identification of emergent paradigms.

22

2. The search for the systems paradigm reveals a set of systems frames at different stages of development. The different frames eventhough, they have some relationship between them, have been developed in a fairly independent way, in that, they have not been based in a common research program or a common frame.

Therefore, it is natural to suggest a proposal for advancing the systems movement: to gather the main leaders of the movement and, through a consensus creating procedure, to produce a research program for the future of the area. There is a technique for carrying out such a procedure.

3. Understanding the implications of systems frames in social systems is done through the identification of basic limiting assumptions. Four limiting assumptions are identified: tight relationships, well-behaved components, unique states, and permanency. These limiting assumptions may pose strong limitations for the use of systems frames in social systems. They may be at the root of a crisis of the systems paradigms. If these assumptions are conceptualized as constituents of the ideology of systems thinking their modification will be confronted with strong opposition within the systems movement.

4. Three frames which may constitute valuable tools for research, design, planning, and management of social systems have been developed under the generic name of systemic-netfields: systemic-networks, systemic-aggregates and systemic-fields. They constitute a bridge between systems and networks, aggregates, and fields. A power structure resembles more a systemic-network than a system or a network. A university may be conceptualized more "naturally" as a systemic aggregate than as a system. Conflict may be better treated using a systemic-field frame where the components are in a state of dynamic equilibrium with different degrees of tension.

5. The understanding of social systems can be advanced through the construction of a powerful "algebra" with individuals, aggregates, networks, systems, and systemic-netfields as components. The definition of operations, composition laws and interrelationships between these components will provide a much richer (and unfortunately messier) super frames for the study of complex social systems and processes such as emergent social processes, autonomy, myths, language, culture, and the genesis and exercise of power.

BIBLIOGRAPHY

23

1. Ackoff, R.L., Towards a system of systems concepts, Management Science, 17, 11, 1971.
2. Ackoff, R.L., Emery, F.E., On Purposeful Systems, Chicago: Aldine-Atherton, 1972.
3. Ackoff, R.L., Redesigning the Future, New York: Wiley, 1974.
4. Ackoff, R.L., National development planning revisited, Oper. Res., 25, 2, 1977, 207-218.
5. Ackoff, R.L., Towards flexible organizations: a multidimensional design, Omega, 5, 6, 1977.
6. Ackoff, R.L., The future of operations research is past, J. Opl. Res. Soc., 30, 1979, 93-104
7. Ackoff, R.L., Resurrecting the future of operational research, J.Opl. Res. Soc., 30, 1979, 189-199.
8. Anderson, B., Carlos, M.L., What is social network theory? in T.R. Burns and W. Buckley (eds), Power and Control, Social Structures and Their Transformations, London and Beverly Hills: Sage Publications, 1976.
9. Bahm, A.J., Systems Theory: hocus pocus or holistic science, General Systems, 14, 1969.
10. Beer, S., Decision and Control, London: Wiley, 1966.
11. Beer, S., Brain of the firm, Allen Lane: The Penguin Press, 1972.
12. Beer, S., The Heart of Enterprise, New York: Wiley, 1980.
13. Bennis, W.G., Benne, K.D., Chin, R., The Planning of Change, 2nd. Edition, New York: Holt, Reinhart and Winston, 1969.
14. Benveniste, G., The Politics of Expertise, Berkeley: Glendessary Press, 1972.
15. Berlinski, D., On Systems Analysis: An Essay on the Limitations of Mathematical Methods on the Social, Political and Biological Sciences, Cambridge: MIT Press, 1976.
16. Berlinski, D., Adverse notes on systems theory, in reference 57.
17. Bertalanffy, L. Von., The theory of open systems in physics and biology, Science, III, 1950, 23-29.
18. Bertalanffy, L. Von., General System Theory, Harmondsworth: Penguins Books, 1968.
19. Bevan, R.G., Bryer, R.A., On measuring the contribution of OR, J.Opl. Res. Soc., 29, 1978, 409-418.
20. Boulding, K., General Systems theory - the skeleton of science, in reference 22.
21. Bryer, R.A., The status of the systems approach, Omega, 7, 3, 1979, 219-131.
22. Buckley, W. (ed), Modern Systems Research for the Behavioral Scientist, Chicago: Aldine, 1968.
23. Cetron, M.J., Clayton, A., Investigating potential value changes, in reference 67.
24. Checkland, P.B., A Systems map of the Universe, J. Sys. Eng., 2, 2, 1971.
25. Checkland, P.B., Towards a systems-based methodology for real world problem solving, J. Sys. Eng., 3, 2, 1972.
26. Checkland, P.B., The development of systems thinking by systems practice-a methodology from an action research program, In R. Trappl and F.P. Hanika (eds), Progress in Cybernetics and Systems Research, Vol. II, Washington D.C.: Hemisphere, 1975, 278-283.
27. Checkland, P.B., Science and the systems paradigm, Int. J. General Systems, 3, 1976, 127-134.
28. Chen, G.K.C., What is the systems approach?, Interfaces, 6, 1, 1975.

29. Churchman, C.W., The Systems Approach, New York: Delacorte Press, 1968.
30. Churchman, C.W., The Design of Inquiring Systems, New York: Basic Books, 1971.
31. Churchman, C.W., Perspectives of the systems approach, Interfaces, 4, 4, 1974.
32. Churchman, C.W., The Systems Approach and its Enemies, New York: Basic Books, 1979.
33. Clark, B.R., The occupational saga in higher education, Administrative Science Quarterly, 17, 1972, 178-184
34. Crane, D., Invisible Colleges: Diffusion of Knowledge in Scientific Communities, Chicago: University of Chicago Press, 1972.
35. Davis, S.M., Lawrence, P.R., Matrix, Reading, Mass: Addison-Wesley, 1977.
36. De Greene, K.B., Sociotechnical Systems: Factors in Analysis, Design and Management, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1973.
37. Dolby, R.G.A., Sociology of knowledge in natural science, Science Studies, 1, 1971.
38. Duncan, N.J., On revolutionizing methodology, Interfaces, 6, 1, 1975, 19-23.
39. Eilon, S., Power corrupts, Omega, 7, 4, 1979, 269-272.
40. Emery, F.E., Trist, E.L., Socio-technical systems, in F.E. Emery (ed), Systems Thinking, England: Penguin Books, 1969.
41. Emery, F.E., Trist, E.L., Towards a Social Ecology, London: Plenum Press, 1973.
42. Foerster, H. Von., The curious behavior of complex systems: lessons from biology, in Ref. 67.
43. Forster, M., An introduction to the theory and practice of research in work organizations, Human Relations, 25, 6, 1972.
44. Gall, J., Systemantics, New York: Quadrangle/The New York Times Book Co., 1974.
45. Glassman, R.B., Persistence and loose coupling in living systems, Behavioral Science, 18, 1973, 83-98.
46. Hall, A.D., Fagen, R.E., Definition of system, General Systems, I., 1956.
47. Hall, J.R., Hess, S.W., OR/MS: Dead or dying? RX for survival, Interfaces, 8, 3, 1978.
48. Holling, C.S., The curious behavior of complex systems: lessons from ecology, in Reference 67
49. Hoos, I.D., Systems Analysis as a technique for solving social problems- a realistic overview, Socio-Economic Planning Sciences, 4, 1, 1970.
50. Hoos, I.D., Systems Analysis and Public Policy: a Critique, Berkeley: University of California Press, 1972.
51. Hoos, I.D., Engineers as analysts of social systems: a critical enquiry, J.Sys. Eng., 4, 2, 1976, 81-88.
52. Jenkins, G.M., The systems approach, J.Sys. Eng., 1, 1, 1969.
53. Jones, A.W., On the limitations of GST in systems engineering, in reference 57
54. Kast, F.E., Rosenzweig, J.E., The modern view: a systems approach, in J. Beishon and G. Peters (eds), Systems Behavior, The open University Press, London: Harper and Row, 1972.
55. Klir, G.J., An Approach to General Systems Theory, New York: Wiley, 1969.
56. Klir, J.G. (ed), Trends in General Systems Theory, New York: Wiley, 1972.
57. Klir, J.G. (ed), Applied General Systems Research, New York: Plenum Press, 1978.
58. Kuhn, T.S., The Structure of Scientific Revolutions, 2nd ed., Chicago, University of Chicago Press, 1970.

25

59. Kuhn, T.S., Second Thoughts on Paradigms, in F. Suppes (ed) The Structure of Scientific Theories, Urbana: The University of Illinois Press, 1974, 459-482.

60. Lapp, R.E., The New Priesthood: The Scientific Elite and the Uses of Power, New York: Harper, 1965.

61. Lee, A.M., Systems Analysis Frameworks, London: Macmillan, 1970.

62. Leeuw, A.C.J. de, Systems: definition and goal, Journal of Systems Engineering, 3, 2, 1972.

63. Levin, P.H., On decisions and decision-making, Publ. Admin., 50, 1972, 19-44.

64. Lewin, K., Field Theory in Social Science: Selected Theoretical Papers, Dorwin Cartwright (ed), London: Tavistock, 1963.

65. Lilienfeld, R., Systems Theory as an ideology, Social Research, 42, winter 1975, 637-660.

66. Lilienfeld, R., Systems thinking in the social sciences, in R. Lilienfeld, The Rise of Systems Theory, New York: Wiley, 1978.

67. Linstone, H.A., Clive Simmonds, W.H., Futures Research, Reading, Ma.: Addison-Wesley, 1977.

68. Ludz, P.C., Marxism and System theory in a bureaucratic society, Social Research, 42, 1975, 661-674.

69. Marchall, J.H., On the concept of a system, Philosophy of Science, 42, 1975, 448-468.

70. Masterman, M., The nature of a paradigm, In I. Lakatos and a Masgrave (eds), Criticism and the Growth of Knowledge, Cambridge: The University Press, 1970.

71. Maturana, H.R., Varela, F.J., Autopoiesis and Cognition: The realization of the Living, Dordrecht, Holland: Reidel, 1980.

72. Mayer, A.C., The significance of quasi-groups in the study of complex societies, in M. Banton (ed), The Social Anthropology of Complex Societies, London: Harper and Row, 1973.

73. McLean, M., The limitations of applied systems research, in reference 57

74. Mesarovic, M.D., Views on General Systems Theory, New York: Wiley, 1969.

75. Mesarovic, M.D., Systems concepts, paper prepared for the UNESCO Project "Scientific Thought", 1969.

76. Meyer, J., Rowan, B., Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony, American Journal of Sociology, 30, 1977, 431-450.

77. Michael, D.N., Planning's challenge to the systems approach, in Reference 67

78. Minsky, M., A framework for representing knowledge, AI Memo 306, MIT Artificial Intelligence Laboratory, Cambridge, Mass, June 1974.

79. Mitroff, I.I., Kilmann, R., On organizational stories: an approach to the design and analysis of organizations through myths and stories, in R.H. Kilmann, L.R. Pondy, and D.P. Slevin (eds), The Management of Organization Design: Strategies and Implementation, New York: American Elsevier, 1976.

80. Mullins, N.C., The development of a scientific specialty: the phage group and the origins of molecular biology, Minerva, 10, 1, 1972.

81. Mulkay, M.J., Gilbert, G.N., Woolgar, S., Problem areas and research networks in science, Sociology, 9, 2, 1975.

82. Pfeffer, J., Salancik, C., Organizational decision making as a political process: the case of a university budget, Administrative Science Quarterly, 19, 1974, 131-151.

83. Phillips, D.C., System Theory - a discredited philosophy, Abacus, September 1969, 3-15.

84. Phillips, D.C., Holistic Thought in Social Science, Stanford, Cal.: Stanford University Press, 1976.

85. Pidd, M., Systems approaches and operational research, European Journal of Operational Research, 3, 1979, 13-D.

- 49
26
86. Pondy, L.R., The other hand clapping: and information processing approach to organizational power, in T. Hammer and S. Bacharach (eds), Reward Systems and Power Distribution, Cornell University, Scholl of Industrial and Labor Relations, 1977.
 87. Pondy, L.R., Mitroff, I.I., Beyond open system models of organization, Research in Organizational Behavior, 1, 1979, 3-39
 88. Price, D.J., De Solla, Little Science, Big Science, New York: Columbia University Press, 1963.
 89. Raitt, R.A., Must we revolutionize our methodology?, Interfaces, 4, 2, 1974.
 90. Rapoport, A., Modern systems theory-an outlook for coping with change, General Systems, XV, 1970, 15-25
 91. Rubin, A.D., Hypothesis Formation and Evaluation in Medical Diagnosis, AI-TR-316, MIT Artificial Intelligence Laboratory, Cambridge, Mass, Jan. 1975.
 92. Sachs, W.M., Toward formal foundations of teleological systems science, General Systems, XXI, 1976, 145-152.
 93. Scott, W.G., Mitchell, T.R., Organization Theory, Georgetown, Ontario: Richard D. Irwin, Inc., 1972.
 94. Shapere, D., The structure of scientific revolutions, Philosophical Review, 73, 1964, 383-394.
 95. Shaw, M.E., Costanzo, P.R., Theories of Social Psychology, New York: Mac Graw-Hill, 1970.
 96. Silverman, D., The Theory of Organization, New York: Basic Books, 1971.
 97. Simon, H.A., The Sciences of the Artificial, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969.
 98. Suppes, F. (ed), The Structure of Scientific Theories, Urbana: The University of Illinois Press, 1974.
 99. Systems Analysis and Operations Research: A tool for policy and program planning for developing countries, Commission on International Relations, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1976.

- 50
100. Thompson, J.D., Organizations in Action, New York: McGraw Hill, 1967.
 101. Trist, E.L., New directions of hope: recent innovations interconnecting organizational, industrial, community and personal development, Regional Studies, 13, 1979, 439-451.
 102. Trist, E.L., The environment and system-reponse capability, Futures, April 1980.
 103. Van Court, H., Systems Analysis, in Progress in OR, Vol. 2, New York: Wiley, 1964.
 104. Van Gigch, J.P., Applied General Systems Theory, 2nd Ed., New York: Harper and Row, 1978.
 105. Varela, F.J., On being autonomous: the lessons of natural history for systems theory, in reference 57
 106. Vickers, G., The future of culture, in H.A. Listone and W.H. Clive Simmonds, Futures Research, Reading, Ma.: Addison - Wesley, 1977.
 107. Weick, K.E., Middle range theories of social systems, Behav. Sci., 10, 6, 1974.
 108. Weick, K.E., Educational organizations as loosely coupled systems, Administrative Science Quarterly, 21, 1976, 1-19
 109. Zeleny, M., Book Reviews: Trentowski, Bogdanov, Leduc, Smuts, Int. J. General Systems, 5, 1, 1979, 63-71.
 110. Schwartz, P., Ogilvy, J., The emergent paradigm: Toward an aesthetics of life. Unpublished Manuscript presented at the ESOMAR Meeting in-Barcelona, Spain in June 1980.
 111. Trist, E.L., A concept of organizational ecology, Australian Journal of Management, 2,2, 1977.
 112. Trist, E.L., Referent organizations and the development of inter-organizational domains, A distinguished lecture to the Academy of Management, 39th. Annual Convention, Atlanta, August 9, 1979.
 113. Trist, E.L., The evolution of socio-technical systems as a conceptual framework and as an action research program, Unpublished manuscript, April 1980.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

LA EVALUACION DE PROYECTOS URBANOS COMO UN PROBLEMA DE TOMA DE
DECOSOPMES BAKP OBJETIVOS EN CONFLICTO

DR. JOSE DIAZ PADILLA

NOVIEMBRE, 1984

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION.....	1
2. EL PROBLEMA DE LA EVALUACION DE PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO.....	4
3. METODOLOGIA PARA EVALUAR PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO.....	13
4. APLICACION.....	24
CONCLUSIONES.....	43
ANEXO.....	46

LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS URBANOS COMO UN PROBLEMA DE TOMA DE DECISIONES BAJO OBJETIVOS EN CONFLICTO ¹

Ing. Sergio del Río Herrera ²
Dr. Jorge Díaz Padilla ³

El proceso de evaluación en todo problema decisonal, tiene como objetivo principal el asignar una *medida* a un conjunto de proyectos, planes, programas, alternativas, etc. De tal forma que tales medidas permitan establecer un orden jerárquico entre los elementos del conjunto, reflejando así la "efectividad" asociada con cada uno de ellos. La evaluación y jererquización de proyectos, dentro del proceso de Planeación del Desarrollo Urbano, presenta serias dificultades, debido principalmente a la completa naturaleza de dicho proceso.

Si se considera a los Sistemas Urbanos formados por tres subsistemas principales: Físico, Económico y Social, la sola definición de los componentes e interrelaciones de dichos subsistemas, en particular el económico y el social, presenta grandes problemas no sólo debido a la necesidad de considerar aspectos de diferente índole, como son los financieros, económicos, políticos, sociales, etc. (presentando así objetivos múltiples que se cuantifican en forma diferente y por consiguiente no comparables entre sí), sino que por otra parte, muchos aspectos no tienen valor monetario y por tanto el enfoque tradicional de costo-beneficio no es aplicable.

En efecto, la evaluación de proyectos de planeación urbana requiere de una metodología mucho más completa que el análisis costo-beneficio, y no ha sido, sino hasta los últimos años que se han empezado a utilizar en la solución de problemas reales, técnicas tales como: Teoría de Decisiones, Análisis de Atributos Múltiples, Teoría de la Utilidad, etc. (aunque las aplicaciones realizadas a la fecha se han orientado básicamente a sistemas hidráulicos y de transporte).

Por otra parte, la Dirección General de Centros de Población (DGCP), dependiente de la SAHOP, tiene como uno de sus objetivos fundamentales el formular acciones concretas correspondientes al Sector Asentamientos Humanos, para los centros de población del país. Lo anterior planteó el problema de manejo de información necesaria para poder realizar diagnósticos y, con base a estos, formular acciones en materia de desarrollo urbano.

Ante esta situación, la DGCP, durante el período comprendido entre 1977 y 1980, concibió y desarrolló el Sistema de Información de Diagnóstico Continuo para el Desarrollo Urbano (SIDDU), este sistema de información, que actualmente se está computarizando, posibilita la realización de diagnósticos urbanos de los centros de población en forma rápida, simple, eficiente y continua.

Debido al alto número de centros de población existentes, se ha planteado como primera etapa, analizar exclusivamente los centros con poblaciones entre 2 500 y 300 000 habitantes y posteriormente abarcar los restantes de manera gradual.

¹ Trabajo presentado por el primer autor para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, Noviembre de 1981.

² Jefe de Proyecto, PDA Consultores

³ Director General, PDA Consultores

El SIDDU, tal y como se ha planteado permite ser usado de la siguiente manera:

Banco de Información:

Como banco de información consiste en el almacenamiento estructurado de la información urbana de los centros de población del país, en forma tal que sirva para su consulta, de acuerdo a los fines específicos del usuario.

Diagnóstico Urbano:

El SIDDU proporciona un diagnóstico de la problemática urbana de las localidades del país a través de tablas de resultados. (Ver Anexo)

Se debe mencionar que una característica principal de este sistema de información es la posibilidad de captar, para cada centro de población, los *problemas sentidos por la comunidad* (Ver Anexo), aspecto que juega un papel muy importante para el desarrollo de la metodología a presentar en este estudio.

En este trabajo, *aprovechando el contenido y estructura de la información captada en el SIDDU*, se presenta y discute la filosofía de algunas técnicas y herramientas, que sin pretender establecer una metodología única para la evaluación y jerarquización de alternativas de desarrollo urbano, se considera redundan en modelos de evaluación, útiles, pragmáticos y fáciles de utilizar para la jerarquización de proyectos de desarrollo urbano.

Se debe de señalar, que para efectos de este estudio se consideró una clase particular de proyectos, dentro del proceso de planeación del desarrollo urbano, con las siguientes características:

- *Proyectos donde las inversiones son relativamente pequeñas, aplicados a centros de población de tamaño reducido y donde la información es escasa y parcial.*

Tomando en cuenta lo anterior, las hipótesis, en las cuales se apoya el modelo decisional utilizado para efectos de la metodología propuesta, son las siguientes:

- modelo decisional de tipo aditivo.
- cada par de atributos considerados preferencialmente independientes.
- no se considera la incertidumbre en el problema.

En la metodología, la determinación de prioridades para un conjunto de programas de inversión

o proyectos, se obtiene considerando dos objetivos básicos:

- el *impacto de desarrollo económico* asociado a los proyectos.
- el *impacto de desarrollo social* asociado a los mismos.

Para lo anterior, las acciones o proyectos de inversión pueden ser identificados a través de perfiles de desarrollo urbano (para esto se consideró la estructura y contenido de la información captada en el SIDDU).

Una vez conocidos dichos perfiles, a través de agregaciones se obtiene el perfil medio correspondiente a cada localidad o conjuntos de ellas.

Por último, se obtiene una tabla que refleja el orden prioritario de cada proyecto para diferentes políticas de desarrollo.

En la parte final de este trabajo se presenta una aplicación de la metodología, considerando para ello un conjunto de *proyectos teóricos*.

El problema que se analiza consiste en la evaluación y jerarquización de cinco proyectos de inversión en materia de desarrollo urbano y considera un conjunto de quince centros de población. Para esto se muestra el nivel actual de desarrollo socioeconómico (definido en base a 10 indicadores) de cada centro de población.

Asimismo, se presentan las funciones de valor de los indicadores usados en el análisis del problema, así como los vectores de ponderación económica y social.

Por último, la aplicación de la metodología con la información antes mencionada, redundó en una tabla de resultados que muestra el orden prioritario de cada proyecto para diferentes políticas de desarrollo.

En la parte final del trabajo, se presenta un Anexo, en el cual se explica brevemente las características generales y usos actuales del SIDDU, así como un *cuestionario de campo típico*, que se aplica a cada centro de población incluido en el sistema, por medio del cual se recopila la información, base del Sistema.

2. EL PROBLEMA DE LA EVALUACION DE PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO (UN PROBLEMA DE OBJETIVOS MULTIPLES)

Una dificultad que se presenta durante el proceso de evaluación es la de comparar entre sí diferentes alternativas o programas de desarrollo, que redundan en consecuencias de muy diversa naturaleza. ¿Cómo se podría comparar por ejemplo, dos proyectos de inversión para un centro de población, uno de los cuales dirigido fundamentalmente a programas educacionales y otro a servicios de salud pública? ¿Cómo se podría establecer que el plan P_1 , con el cual se logra atender I_1 (P_1) alumnos e I_2 (P_1) pacientes, es más conveniente que el plan P_2 con el cual se satisface la demanda de I_1 (P_2) alumnos e I_2 (P_2) pacientes?

Si además se considera un mayor número de alternativas enfocadas a la satisfacción de diversas necesidades (como podría ser: agua potable, drenaje, pavimentación, mercados, etc.), y dirigidas no solamente a un centro de población, sino a un gran número de ellos, la complejidad del problema se vuelve evidente.

Es claro que la situación ideal sería la de maximizar simultáneamente los beneficios generados por cada proyecto, sin embargo, por razones obvias esto no se puede lograr sin elevar también el costo incurrido al proporcionar los servicios en cuestión. Ante restricciones de tipo presupuestal, es necesario sacrificar la consecución de algunos objetivos por la de otros, y seleccionar aquel curso de acción que él o los decisores consideren como el mejor para el presupuesto disponible.

En el contexto de la planeación urbana, los objetivos involucrados se miden por medio de atributos no directamente comparables entre sí, y por lo tanto, es necesario establecer metodologías para efectuar racionalmente las comparaciones requeridas y para cuantificar la importancia relativa de los objetivos múltiples que se pretenden lograr.

Para la solución práctica de este tipo de problemas, se han desarrollado varios métodos, los cuales redundan en respuestas aproximadas, pero útiles desde el punto de vista de aplicaciones reales.

2.1 EL PROBLEMA DE OBJETIVOS MULTIPLES PARA EL CASO DE DOS ATRIBUTOS

El problema anterior se puede visualizar fácilmente para el caso de dos dimensiones, es decir, cuando sólo se tiene dos objetivos:

Sea I_1 un índice que representa una medida del objetivo proporcionar servicios de esparcimiento a los habitantes de algún centro de población en particular (I_1 expresado como el "número de metros cuadrados de parques por habitante", "número de campos deportivos construidos", "número de asientos de cine por habitante", etc.) o I_2 una medida de efectividad de un segundo

objetivo: Proporcionar servicios de salud pública a los habitantes del centro de población en cuestión (I_2 expresado como "número de habitantes por médico", "número de camas de hospital por habitante", etc.).

Las diferentes alternativas (o proyectos de inversión) dirigidos hacia la satisfacción de tales objetivos, generarán diferentes pares de valores para los anteriores índices, los cuales se pueden graficar en un sistema coordinado I_1, I_2 , tal y como se muestra en la Fig. 1.

En la figura, si $\underline{I}(P_i) = [I_1(P_i), I_2(P_i)]$ representa el vector de efectividad correspondiente al proyecto P_i , puede observarse que la alternativa P_2 (cuya medida de efectividad asociada es $\underline{I}(P_2)$) resulta ser más atractiva que la P_1 , dado que con la primera se logra un mayor nivel de salud pública y se tiene el mismo grado de beneficio en cuanto a esparcimiento. Se dice entonces que $\underline{I}(P_1)$ domina a $\underline{I}(P_2)$ o bien que el proyecto P_1 domina al proyecto P_2 .

Sin embargo, la comparación entre los proyectos P_1 y P_3 no resulta sencilla, dado que en general, los indicadores I_1 e I_2 no pueden compararse directamente.

El conjunto de proyectos que no son dominados definen la curva f (ver Fig. 1). Dicha curva se conoce como *frontera eficiente* y representa la frontera del conjunto de proyectos factibles. Cualquier punto localizado por arriba de la curva f representa una *solución no factible*, y por consiguiente, los puntos que definen la curva dominan al resto de los puntos (o proyectos) factibles, siendo entonces los más eficientes.

En la misma figura se muestran las llamadas *curvas de indiferencia*, que representan combinaciones de los índices I_1 e I_2 , ante las cuales el decisor resulta ser indiferente.

En general, si se conocen estas curvas, resulta sencillo calcular la equivalencia entre los atributos en cuestión. La hipótesis en este caso es la siguiente: *aquellas combinaciones que se encuentran en alguna curva de indiferencia, como por ejemplo la C_{I_2} de la Fig. 1, producen un mayor nivel de satisfacción que aquellas combinaciones que se encuentran localizadas a la izquierda y por debajo de la primera, por ejemplo la C_{I_1} de la misma figura.*

Por lo tanto, la solución del problema está dada por el punto de tangencia entre las curvas de indiferencia y la frontera eficiente. En el caso ilustrado, la solución o alternativa más atractiva, corresponde al proyecto P_4 (ver Fig. 1).

En el caso general de n dimensiones (u objetivos), el i -ésimo proyecto de desarrollo urbano P_i se le puede asociar n medidas de efectividad, $I_1(P_i), I_2(P_i), \dots, I_n(P_i)$.

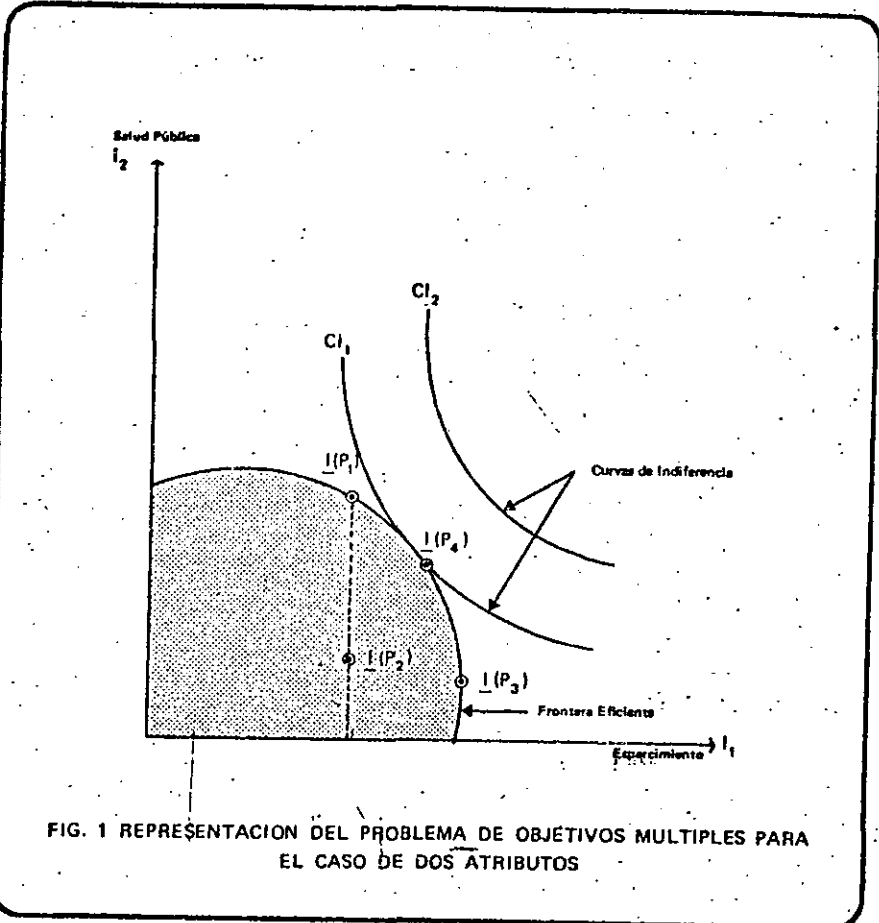


FIG. 1 REPRESENTACION DEL PROBLEMA DE OBJETIVOS MULTIPLES PARA EL CASO DE DOS ATRIBUTOS

Si $I(P_i) = [I_1(P_i), I_2(P_i), \dots, I_n(P_i)]$ representan un punto en el espacio de evaluación, entonces el problema consistirá en asignarle a dicho punto una medida de la eficiencia global del proyecto que representa. Para esto, será necesario (como se verá más adelante) cuantificar la importancia relativa de cada uno de los atributos y posteriormente, combinar las medidas de efectividad correspondientes.

En la mayoría de los casos el problema dista mucho de ser un problema sencillo, pues aún en el caso de dos atributos, no es fácil obtener las curvas de indiferencia. Obviamente, para el caso de más de dos atributos, el problema se complica aún más.

Sin embargo, para la solución práctica de este tipo de problemas, se han desarrollado varios métodos, los cuales redundan en respuestas *aproximadas*, pero *útiles* desde el punto de vista de las aplicaciones reales.

2.2 PERFILES DE EFICIENCIA. EL CASO DE TRES OBJETIVOS

Para efectos de ilustración, considérese la evaluación de diferentes planes de inversión para desarrollar los siguientes aspectos en un centro de población específico:

- 1. Servicios Urbanos: agua potable, drenaje, energía eléctrica, etc.
- 2. Equipamiento Urbano: educación, salud, mercados, instalaciones deportivas, etc.
- 3. Condicionantes del desarrollo urbano: carreteras, pavimentos, líneas de autobuses, etc.

(se debe mencionar, que en realidad el problema es mucho más complejo, ya que deben considerarse más categorías y la asignación de recursos para cada clase de servicios en cada categoría, constituye a su vez, otro problema de objetivos múltiples, por simplicidad se exponen sólo los aspectos anteriormente mencionados).

Suponiendo como objetivos globales los de *obtener el máximo nivel de desarrollo* (satisfacción de demanda de cada uno de los aspectos anteriores, el problema de evaluación de diferentes proyectos se puede modelar en tres dimensiones.

Si se define una *medida de efectividad* I_j ($j=1,2,3$) para cada uno de los objetivos, las alternativas de inversión P_i ($i=1,2,\dots,m$) se pueden calificar por medio de sus *perfiles de eficiencia*, los cuales no son más que una representación gráfica de los valores que toman los índices I_j (i). En la Fig. 2 se muestran, de manera esquemática, los *perfiles de eficiencia* para tres alternativas.

De la figura puede observarse que las alternativas P_1 y P_2 dominan a la P_3 *pero de las dos primeras no se sabe cual es la mejor.*

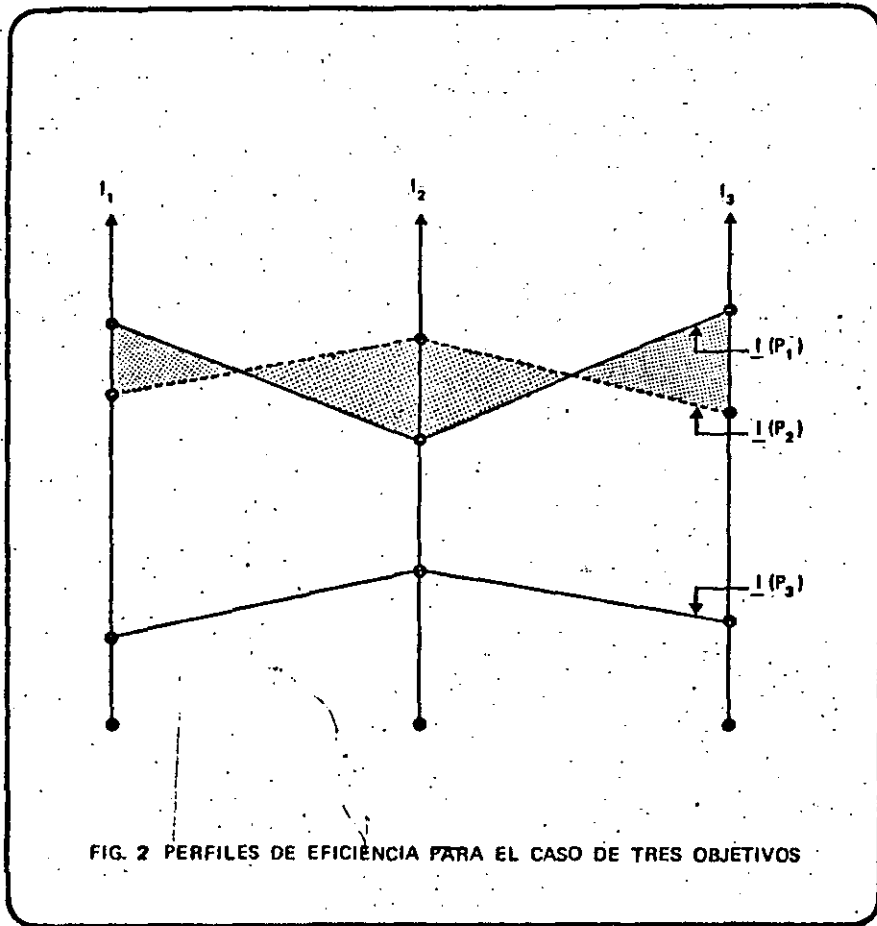


FIG. 2 PERFILES DE EFICIENCIA PARA EL CASO DE TRES OBJETIVOS

2.3 LA TEORÍA DE DECISIONES EN LA EVALUACION DE PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO.

La decisión correspondiente al problema que se menciona en el punto anterior, se puede obtener teóricamente, utilizando técnicas desarrolladas en el campo de la Teoría de la Utilidad, pero en la actualidad se tienen dificultades para la implantación formal de las soluciones propuestas.

Sin embargo, en forma paralela se han venido desarrollando algunos métodos prácticos, los cuales se apoyan en diferentes hipótesis simplificatorias:

cada par de atributos son preferencialmente independientes¹ reduciéndose, por lo tanto, el modelo a uno de tipo aditivo en el cual se establece que el "valor" que se puede asociar a cada proyecto P_i : $V(I_i(P_i))$, se puede expresar como una combinación convexa del valor de cada atributo: $V(I_j(P_i))$, ponderado por un valor λ_j que refleje su importancia relativa con respecto a los demás atributos.

Es decir:

$$V(I_i(P_i)) = \sum_{j=1}^n \lambda_j V(I_j(P_i)) \quad (2.1)$$

$$y \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (2.2)$$

donde n es el número de indicadores involucrados.

2.3.1 OBTENCIÓN DE LA FUNCIÓN DE VALOR (LA TÉCNICA DE LOS VALORES MEDIOS)

Las funciones $V(I_j(\cdot))$ miden el valor que representan cambios marginales en cada uno de los atributos y reflejan la estructura de preferencias del decisor. Estas funciones se pueden obtener de manera relativamente sencilla por medio de la técnica conocida como de valores medios.

Para ilustrar dicha técnica, se discute un ejemplo en el cual, durante el proceso de evaluación se considera el servicio de agua potable y se contemplan varias alternativas de desarrollo del servicio en una cierta localidad tomando en cuenta de manera explícita, la posibilidad de "no inversión".

¹ Se dice que los atributos son preferencialmente independientes, si los cambios requeridos de un indicador I_j para "balancear" cambios asociados en otro indicador I_k , son independientes de los valores que puedan tomar los índices restantes.

Para acotar la función del valor del servicio en cuestión, se asignó de manera arbitraria el valor 0 al nivel más desfavorable desde el punto de vista de desarrollo (en este caso, asociado con la alternativa de "no inversión"), y el valor 1 al nivel de desarrollo más favorable.

Por ejemplo, si el nivel de desarrollo se mide a través del atributo "porcentaje de población beneficiada" y la alternativa P_1 ofrece el indicador más favorable con $I(P_1) = 40\%$ entonces, $V(I(P_1)) = 1$, como se muestra en la Fig. 3.

Los valores intermedios de la función de valor se pueden inferir por medio de juicios de preferencia del decisor.

Es decir, si por ejemplo el decisor resulta ser indiferente con el cambio de $I = 0\%$ a $I = 10\%$, que con el cambio de 10% a 40% , entonces el valor correspondiente para el nivel $I = 10\%$ es $V(I = 10\%) = 0.5$ (el cual representa el valor medio de la función de valor).

El procedimiento anterior se puede repetir, considerando ahora los niveles $\{I = 0\%, I = 10\%\}$ e $\{I = 10\%, I = 40\%\}$, para obtener un nuevo par de niveles del indicador, por ejemplo, $I = 5\%$ a $I = 20\%$, con valores $V(I = 5\%) = 0.25$ y $V(I = 20\%) = 0.75$.

Si se repite este procedimiento para intervalos cada vez más pequeños, se pueden definir curvas o funciones de valor como las mostradas en la Fig. 3. En dicha figura, la línea llena corresponde al ejemplo anterior y la otra resultaría si en lugar de las cantidades $\{5, 10, 20, \dots\}$ se hubiesen los niveles $\{20, 30, 35, \dots\}$.

En la ilustración se supone un comportamiento monótonico en las preferencias, aunque esto no necesariamente tiene que ser así.

2.3.2 OBTENCION DEL VALOR DE LOS PARAMETROS λ .

Una vez obtenido las funciones del valor $V[\cdot]$ para cada atributo, resulta necesario medir la importancia relativa de las mismas, es decir, los valores de las λ_j en la ecuación (2.1) para poder emplear esta última y así obtener el valor global o medida de eficiencia de cada proyecto de inversión.

Los valores de las constantes λ_j se pueden obtener resolviendo un sistema de ecuaciones lineales cuyas n incógnitas son los valores de las constantes λ_j . Una de dichas ecuaciones es la expresión (2.2), y las $n-1$ ecuaciones restantes se generan definiendo puntos de indiferencia para pares de atributos.

6

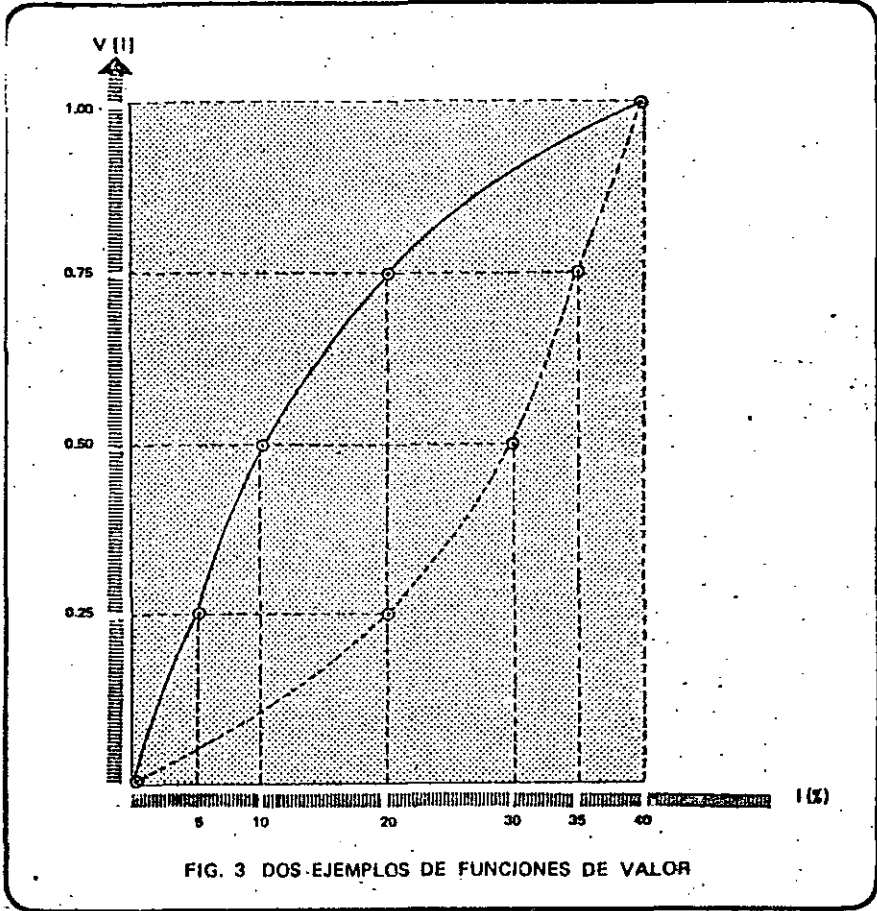


FIG. 3 DOS EJEMPLOS DE FUNCIONES DE VALOR

10

Por ejemplo, si se consideran los atributos: salud, educación, pavimentación y agua potable y a tales atributos se le asocian los índices I_1 , I_2 , I_3 e I_4 respectivamente, una de las cuatro ecuaciones requeridas en este caso se puede obtener definiendo el valor del índice I_3 que hace al decisor indiferente entre los perfiles:

$$\{ I_1 (\text{min}), I_2 (\text{max}), I_3 (\text{min}), I_4 (\text{min}) \}$$

$$\{ I_1 (\text{min}), I_2 (\text{min}), I_3 (-), I_4 (\text{min}) \}$$

donde $I_1 (\text{min})$ e $I_2 (\text{max})$ representan los niveles de desarrollo menos favorable y más favorable del indicador I_j , respectivamente.

Como $V(I_1 (\text{min})) = 0$ y $V(I_2 (\text{max})) = 1$ para cualquier atributo I_j , se tiene que la indiferencia entre los dos perfiles anteriores, se puede expresar de la siguiente manera (ver Ec. (2.1))

$$\lambda_2 = \lambda_3 V(I_3 (-)) \quad (2.3)$$

Es decir, se obtiene la equivalencia entre los atributos: educación y pavimentación. La expresión (2.3) es una ecuación necesaria para el cálculo de los λ_j .

De manera similar se obtienen el resto de las ecuaciones, las cuales, junto con la restricción de que los λ_j deben sumar uno (Ec. 2.2), definen el sistema lineal a resolver.

Una vez obtenidas las medidas de importancia relativa de los atributos bajo consideración, se puede proceder a calcular los valores globales de cada alternativa de inversión por medio de la expresión (2.1).

Los valores así asignados permiten establecer finalmente, un orden jerárquico entre dichas alternativas, completando de esta manera el proceso de evaluación.

En el siguiente capítulo se presenta una metodología basada en las ideas ilustradas, la cual ha sido diseñada para la definición de prioridades de proyectos de inversión en materia de desarrollo urbano.

3. METODOLOGIA PARA EVALUAR PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO

La metodología que a continuación se presenta, permite definir prioridades de inversión en materia de desarrollo urbano para un conjunto de acciones concretas y programas de desarrollo en centros de población.

Para lo anterior, se determina para cada centro de población y mediante una serie de indicadores, los perfiles de desarrollo urbano¹ asociados con las acciones o proyectos de inversión.

Una vez conocidos dichos perfiles se obtiene, a través de un proceso de agregación, el perfil medio correspondiente a cada localidad o conjunto de ellas.

Por otro lado, al definirse diversas políticas urbanas de desarrollo, es factible elaborar perfiles ideales para el conjunto (y de ser posible para cada localidad), y de esta manera derivar acciones concretas dirigidas hacia su logro.

Por último, se obtiene una tabla que refleja el orden prioritario de cada proyecto, para diferentes políticas de desarrollo.

3.1 ANALISIS DEL IMPACTO DEL PROYECTO DE INVERSION

La bondad asociada con un proyecto de desarrollo urbano, puede calificarse desde dos puntos de vista:

- Impacto social
- Impacto económico

Por ejemplo, un proyecto que resulte en un incremento en la dotación de agua potable en un centro de población, redundará en un mayor nivel de salud para los habitantes beneficiados. Esto último propiciará un mejor nivel de capacidad productiva en el renglón económico de la población y, por lo tanto, el proyecto tendrá un impacto positivo en el desarrollo económico de la comunidad.

¹ Para esto se consideró el contenido y estructura de la información recaudada en el Sistema de Información de Diagnóstico Continuo para el Desarrollo Urbano (SIDDU). Ver Anexo.

8

Por ejemplo, si se consideran los atributos: salud, educación, pavimentación y agua potable y a tales atributos se le asocian los índices I_1, I_2, I_3 e I_4 respectivamente, una de las cuatro ecuaciones requeridas en este caso se puede obtener definiendo el valor del índice I_3 que hace al decisor indiferente entre los perfiles:

$$[I_1 \text{ (min)}, I_2 \text{ (max)}, I_3 \text{ (min)}, I_4 \text{ (min)}] \quad e$$

$$[I_1 \text{ (min)}, I_2 \text{ (min)}, I_3 \text{ (*)}, I_4 \text{ (min)}]$$

donde I_1 (min) e I_2 (max) representan los niveles de desarrollo menos favorable y más favorable del indicador I_j , respectivamente.

Como $V[I_1 \text{ (min)}] = 0$ y $V[I_2 \text{ (max)}] = 1$ para cualquier atributo I_j , se tiene que la Indiferencia entre los dos perfiles anteriores, se puede expresar de la siguiente manera (ver Ec. (2.1))

$$\lambda_2 = \lambda_3 V[I_3 \text{ (*)}] \quad (2.3)$$

Es decir, se obtiene la equivalencia entre los atributos: educación y pavimentación. La expresión (2.3) es una ecuación necesaria para el cálculo de los λ_j .

De manera similar se obtienen el resto de las ecuaciones, las cuales, junto con la restricción de que los λ_j deben sumar uno (Ec. 2.2), definen el sistema lineal a resolver.

Una vez obtenidas las medidas de importancia relativa de los atributos bajo consideración, se puede proceder a calcular los valores globales de cada alternativa de inversión por medio de la expresión (2.1).

Los valores así asignados permiten establecer finalmente, un orden jerárquico entre dichas alternativas, completando de esta manera el proceso de evaluación.

En el siguiente capítulo se presenta una metodología basada en las ideas ilustradas, la cual ha sido diseñada para la *definición de prioridades de proyectos de inversión en materia de desarrollo urbano*.

3. METODOLOGIA PARA EVALUAR PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO

La metodología que a continuación se presenta, permite definir prioridades de inversión en materia de desarrollo urbano para un conjunto de acciones concretas y programas de desarrollo en centros de población.

Para lo anterior, se determina para cada centro de población y mediante una serie de indicadores, los perfiles de desarrollo urbano¹ asociados con las acciones o proyectos de inversión.

Una vez conocidos dichos perfiles se obtiene, a través de un proceso de agregación, el perfil medio correspondiente a cada localidad o conjunto de ellas.

Por otro lado, al definirse diversas políticas urbanas de desarrollo, es factible elaborar perfiles ideales para el conjunto (y de ser posible para cada localidad), y de esta manera derivar acciones concretas dirigidas hacia su logro.

Por último, se obtiene una tabla que refleja el orden prioritario de cada proyecto, para diferentes políticas de desarrollo.

3.1 ANALISIS DEL IMPACTO DEL PROYECTO DE INVERSION

La bondad asociada con un proyecto de desarrollo urbano, puede calificarse desde dos puntos de vista:

- Impacto social
- Impacto económico

Por ejemplo, un proyecto que resulte en un incremento en la dotación de agua potable en un centro de población, redundará en un mayor nivel de salud para los habitantes beneficiados. Esto último propiciará un mejor nivel de capacidad productiva en el renglón económico de la población y, por lo tanto, el proyecto tendrá un impacto positivo en el *desarrollo económico* de la comunidad.

¹ Para ésto se consideró el contenido y estructura de la información recabada en el Sistema de Información de Diagnóstico Continuo para el Desarrollo Urbano (SICODU). Ver Anexo.

Por otro lado, el mismo proyecto generará mayor tranquilidad y bienestar entre los habitantes beneficiados, lo cual implica un impacto positivo en cuanto al *desarrollo social* de la comunidad.

Dichos impactos se medirán considerando el *efecto marginal* de los proyectos en estudio, de acuerdo a los datos contenidos en los bancos de información del SIDDU.

Para esto se utilizarán como parámetros de desarrollo, algunas características de desarrollo urbano de los centros de población analizados.

Las características o atributos considerados en este trabajo, se muestran en la Tabla 1.

En base a la información anterior se puede obtener, para cada centro de población (CP) en cuestión un vector:

$$EA(a)_i = [EA(a)_{i,1}, EA(a)_{i,2}, \dots, EA(a)_{i,10}]$$

que refleja el estado actual de los indicadores de desarrollo urbano en dicha población.

El j-ésimo componente del vector anterior $(EA(a)_{i,j})$, estará dado por la asignación numérica o alfanumérica, correspondiente al j-ésimo indicador de la Tabla 1, para el i-ésimo centro de población.

Una vez obtenido los vectores anteriores para todos los centros de población, se puede definir una matriz $\{EA(a)\}$ que represente el estado actual de desarrollo urbano del conjunto de localidades bajo estudio (como se muestra en la Tabla 2).

La matriz $\{EA(a)\}$ servirá como base para calificar el impacto generado por cada proyecto o programa de inversión, el cual se determinará tomando en cuenta los cambios ocasionados por las inversiones en la estructura de dicha matriz.

En el análisis que a continuación se presenta, se considera un conjunto de n centros de población CP_1, CP_2, \dots, CP_n y un conjunto de m proyectos¹ de inversión P_1, P_2, \dots, P_m .

A cada proyecto P_k se le puede asociar una matriz $\{EA(k)\}$ que refleje la estructura de desarrollo urbano, para el conjunto de localidades en cuestión, resultante de la inversión requerida por el proyecto. Es decir, el elemento $EA(k)_{i,j}$ de la matriz $\{EA(k)\}$, estará dado por la asignación numérica o alfanumérica del nivel de desarrollo del j-ésimo indicador y el i-ésimo centro de población generado por el proyecto P_k .

¹ La naturaleza de los proyectos debe estar limitada por los atributos contemplados en la Tabla 1.

TABLA 1 INDICADORES DE DESARROLLO URBANO CONSIDERADOS EN LOS ANALISIS

No.	CONCEPTO	INDICADOR
1	AGUA POTABLE	% de la población carente del servicio
2	DRENAJE	% de la población carente del servicio
3	ACCESO POR CARRETERA PAVIMENTADA	Número de carreteras
4	EDUCACION PRIMARIA	% de la población de 7-14 años que asiste a la escuela
5	LINEAS DE AUTOBUSES QUE TOCAN LA LOCALIDAD	Número de líneas
6	MERCADOS	Número de m ² construidos por cada 100 h.
7	RASTROS	Existencia y estado
8	PAVIMENTACION	% superficie del centro de población carente del servicio
9	MEDICOS	Número de habitantes por médico
10	CORREOS	Existencia del servicio

TABLA 2. MATRIZ DE ESTADO ACTUAL DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO URBANO PARA UN CONJUNTO DE LOCALIDADES

Centro de Población	INDICADOR									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CP ₁	EA (a) _{1,1}	EA (a) _{1,2}	EA (a) _{1,3}	EA (a) _{1,4}	EA (a) _{1,5}	EA (a) _{1,6}	EA (a) _{1,7}	EA (a) _{1,8}	EA (a) _{1,9}	EA (a) _{1,10}
CP ₂	EA (a) _{2,1}	EA (a) _{2,2}	EA (a) _{2,3}	EA (a) _{2,4}	EA (a) _{2,5}	EA (a) _{2,6}	EA (a) _{2,7}	EA (a) _{2,8}	EA (a) _{2,9}	EA (a) _{2,10}
CP ₃	EA (a) _{3,1}	EA (a) _{3,2}	EA (a) _{3,3}	EA (a) _{3,4}	EA (a) _{3,5}	EA (a) _{3,6}	EA (a) _{3,7}	EA (a) _{3,8}	EA (a) _{3,9}	EA (a) _{3,10}
CP ₄	EA (a) _{4,1}	EA (a) _{4,2}	EA (a) _{4,3}	EA (a) _{4,4}	EA (a) _{4,5}	EA (a) _{4,6}	EA (a) _{4,7}	EA (a) _{4,8}	EA (a) _{4,9}	EA (a) _{4,10}
CP _n	EA (a) _{n,1}	EA (a) _{n,2}	EA (a) _{n,3}	EA (a) _{n,4}	EA (a) _{n,5}	EA (a) _{n,6}	EA (a) _{n,7}	EA (a) _{n,8}	EA (a) _{n,9}	EA (a) _{n,10}

Finalmente bajo el esquema ilustrado en el capítulo anterior, deberá definirse la siguiente información:

- Una función de valor para cada atributo¹ EA_{i,j} de la matriz de indicadores de desarrollo urbano (correspondientes al j-ésimo atributo en el i-ésimo centro de población):

$$V [EA (\cdot)_{i,j}] = v (\cdot)_{i,j}$$

que permita transformar los posibles estados (medidos en escala numérica o alfanumérica) del elemento EA_{i,j} a valores numéricos (entre 0 y 1), que representen la estructura de preferencias del decisor entre los diferentes estados del atributo en cuestión.

- Un vector de coeficientes de ponderación de desarrollo económico:

$$\alpha = [\alpha_{1,1}, \alpha_{1,2}, \dots, \alpha_{1,10}]$$

cuyos elementos expresan la importancia relativa de los atributos EA_{i,j} (j = 1, 10) con respecto al desarrollo económica del i-ésimo centro de población.

- Un vector de coeficientes de ponderación de desarrollo social:

$$\beta = [\beta_{1,1}, \beta_{1,2}, \dots, \beta_{1,10}]$$

cuyos elementos expresan la importancia relativa de los atributos con respecto al desarrollo social del centro de población considerado.

Con la información anterior² se pueden definir los siguientes valores para cada proyecto de inversión:

1. El valor del nivel de desarrollo económico generado por el proyecto P_k³:

$$VDE (P_k) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{10} \alpha_{i,j} v (k)_{i,j}}{n} \tag{3.1}$$

1 - La notación EA (·)_{i,j} se refiere a valores específicos que toma el indicador EA_{i,j}.
 2 - Con el objeto de mantener una escala de valores entre 0 y 1, los elementos de los vectores $\alpha_{i,j}$ y $\beta_{i,j}$ deben respetar las siguientes relaciones:

$$\sum_{j=1}^{10} \alpha_{i,j} = 1 \quad \sum_{j=1}^{10} \beta_{i,j} = 1$$

 3 - La división por n se considera con el objeto de mantener una escala de valores entre 0 y 1.

2. El valor del nivel de desarrollo social generado por el proyecto P_k :

$$VDS(P_k) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{10} \beta_{i,j} v(k)_{i,j}}{n} \quad (3.2)$$

En las fórmulas anteriores, si al proyecto "no inversión" se le denota por P_0 , los valores asociados $VDE(P_0)$ y $VDS(P_0)$ corresponderán con los valores del nivel actual de desarrollo.

Por otra parte, estas expresiones contemplan la posibilidad de que un proyecto tenga impacto, no solamente sobre diferentes atributos en un mismo centro de población, sino también en atributos correspondientes a diferentes centros de población.

De todo lo anterior se observa que la situación ideal sería la obtención de valores $VDE(P_0) = VDS(P_0) = 1$. Sin embargo, en la realidad, dichos valores distarán mucho de tal valor ideal.

El rango comprendido entre los valores reales y el valor ideal, dependerá del estado de desarrollo del conjunto de localidades en estudio. Tal rango establece el potencial de impacto para cada proyecto de inversión.

Si se tiene por ejemplo, que $VDS(P_0) = 0.3$, puede decirse que el potencial de impacto social, en este caso, es del 70 %.

De esta manera, para cada proyecto P_k , pueden calcularse índices de impacto económico y social por medio de las expresiones siguientes:

$$IIE(P_k) = \frac{VDE(P_k) - VDE(P_0)}{1 - VDE(P_0)} \cdot C \quad (3.3)$$

$$IIS(P_k) = \frac{VDS(P_k) - VDS(P_0)}{1 - VDS(P_0)} \cdot C \quad (3.4)$$

donde (C) es una constante de proporcionalidad.

Debe notarse que el valor resultante, al calcular estos índices, será en general un número pequeño, dada la naturaleza de las variables. El valor constante C, tiene como finalidad única, la obtención de resultados más manejables y claros y no influye en la jerarquización de los proyectos.

11

Finalmente, con el objeto de considerar el monto de inversión requerida por cada proyecto o programa ($I(P_k)$), se pueden definir los siguientes indicadores de impacto por inversión requerida (o índices de eficiencia):

$$IEE(P_k) = \frac{IIE(P_k)}{I(P_k)} \quad (3.5)$$

$$IES(P_k) = \frac{IIS(P_k)}{I(P_k)} \quad (3.6)$$

3.2 MODELO PARA JERARQUIZAR UN CONJUNTO DE PROYECTOS DE INVERSION

Diferentes proyectos tendrán asociados, generalmente, diferentes pares de valores de los índices $IEE(\cdot)$ e $IES(\cdot)$, los cuales pueden graficarse en un sistema coordinado $IEE(\cdot)$, $IES(\cdot)$ como se ilustra en la Fig. 4.

Si $\underline{I}(P_k) = [IEE(P_k), IES(P_k)]$ representa el vector de efectividad correspondiente al proyecto P_k , de la figura puede verse, que para el caso ilustrado, el conjunto de proyectos $\{ P_1, P_4, P_3, P_6, P_5 \}$ representa la frontera eficiente \underline{f} , ya que cualquier punto por debajo de ésta, se encuentra dominado cuando menos por un punto sobre dicha frontera.

La selección del "mejor" de los proyectos que se encuentra en la frontera eficiente, no puede hacerse directamente de la Fig. 4. No obstante, para dichos proyectos pueden obtenerse indicadores globales de eficiencia, aplicando una función de valor a cada punto $\underline{I}(P_k)$ en la curva \underline{f} .

Para esto es necesario, en primer lugar, cuantificar la importancia relativa de cada indicador de eficiencia y posteriormente asignar a cada indicador una función de valor.

De esta forma, es posible definir el valor global de cada proyecto: $V[\underline{I}(P_k)]$, el cual se puede definir como la combinación lineal del valor de los indicadores $V[IEE(P_k)]$ y $V[IES(P_k)]$ y de su coeficiente de importancia relativa ϕ_E y ϕ_S :

$$V [I (P_k)] = \phi_E V [IEE (P_k)] + \phi_S V [IES (P_k)] \quad (3.7)$$

donde:

$$V [IEE (P_k)] = \frac{IEE (P_k)}{\sum_{i=1}^n IEE (P_i)}$$

$$V [IES (P_k)] = \frac{IES (P_k)}{\sum_{i=1}^n IES (P_i)}$$

$$y \quad \phi_E + \phi_S = 1 \quad (3.8)$$

La determinación de $V [IEE (\cdot)]$ y $V [IES (\cdot)]$ se hace para cada proyecto P_i .

Los valores ϕ_E y ϕ_S representan la importancia relativa que el decisor da a cada indicador y pueden estimarse de manera subjetiva, estableciendo diferentes valores que contemplan diferentes políticas de desarrollo a criterio del decisor.

Una vez definido los proyectos que forman la frontera eficiente, se calcula el valor $V [I (\cdot)]$ asociado a cada uno de ellos. Aquel proyecto que resulte con el máximo valor, será el "mejor" sobre la curva f .

Debe hacerse notar que si el problema de interés es únicamente el de encontrar el "mejor" proyecto, la obtención de la frontera eficiente es relevante, ya que aquellos proyectos que se encuentran por debajo de la misma pueden ser eliminados y el análisis subsiguiente se limita a los proyectos "eficientes".

Sin embargo, para obtener la jerarquización del conjunto completo de proyectos, cada uno de ellos debe ser analizado, es decir, el valor $V [I (\cdot)]$ debe obtenerse para todos los proyectos y los valores resultantes determinarán su orden de importancia.

El primer proyecto de la lista será aquel con el valor máximo asociado y así sucesivamente. De esta manera se obtiene como resultado la clasificación de los proyectos por orden de importancia.

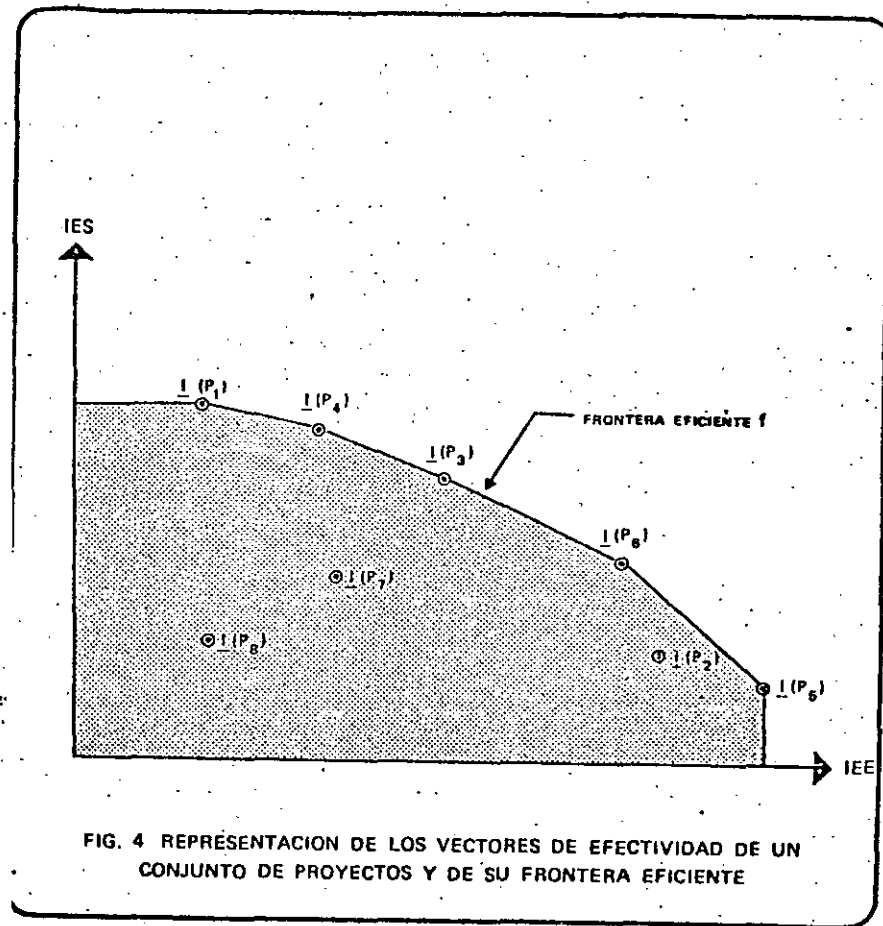


FIG. 4 REPRESENTACION DE LOS VECTORES DE EFECTIVIDAD DE UN CONJUNTO DE PROYECTOS Y DE SU FRONTERA EFICIENTE

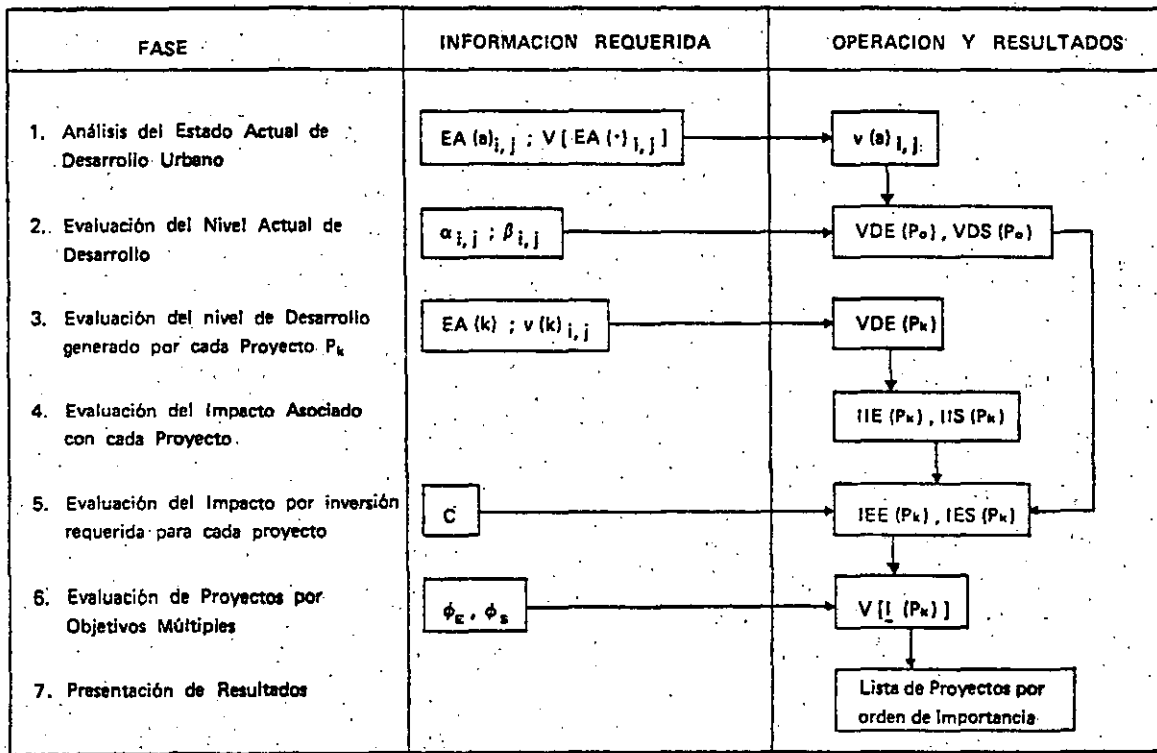


TABLA 3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE EVALUACION SOCIO-ECONOMICA

3.3 ALGORITMO DEL PROCESO DE EVALUACION

En la tabla 3 se muestra la secuencia a seguir en el proceso de evaluación. Como se puede observar en la tabla, dicho proceso puede separarse en varias fases, las cuales pueden agruparse en dos grandes bloques:

- análisis del estado actual (fase 1 y 2)
- análisis y evaluación de proyectos (fases 3, 4, 5 y 6).

Es claro que la aplicación del proceso implica el mismo procedimiento para cada problema nuevo de evaluación.

4 APLICACION

4.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En esta sección se presenta una aplicación de la metodología expuesta en el capítulo anterior para ciertos proyectos (teóricos) diseñados en función de la estructura de la información contenida en el SIDDU:

El problema a analizar, consiste en la evaluación y jerarquización de 5 proyectos de inversión en materia de desarrollo urbano, cuya descripción se muestra en la Tabla 4.

Por otra parte, las Tablas 6 y 7 presentan las funciones de valor de los indicadores a usar en el análisis del problema, las cuales se supusieron iguales para todos los centros de población (excepto en los casos presentados en la Tabla 6, para los cuales se tienen funciones diferentes asociadas con varios rangos de población).

4.2 FASE 1 (ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO)

En la Tabla 5 se muestra el nivel actual de desarrollo socioeconómico (definido en base a los 10 indicadores considerados en la Tabla 1) para 15 centros de población registrados en los bancos de información.

Las Tablas 6 y 7 muestran las funciones de valor usadas durante la evaluación, las cuales se supusieron iguales para todos los centros de población (con las salvedades expuestas en el punto anterior).

De las tablas mencionadas puede obtenerse una matriz, tal que cada uno de sus elementos represente el valor (preferencial) del estado del indicador para cada centro de población. Así por ejemplo, el valor del indicador EA (a)_{1,1} (agua potable en Candelas, ver Tabla 5) indica que un 30% de la población carece de este servicio.

De la Tabla 6 se obtiene que el valor preferencial que corresponde a dicho estado $v(a)_{1,1}$ es igual a 0.7 (ver Tabla 8).

TABLA 4. EJEMPLOS DE PROYECTOS DE INVERSION

PROYECTO NUMERO	CONCEPTO	CENTRO DE POBLACION	COSTO DEL PROYECTO (miles de pesos)	BENEFICIOS DEL PROYECTO
1	Agua Potable	Las Margaritas	300	1 800 habr.
2	Medicos	Paso Alto	200	800 habr.
3	Escuelas	Santa Cecilia	250	250 alum.
4	Agua Potable	La Bolita	325	670 habr.
5	Drenaje	San José de la Cal	750	2 500 habr.

POBLACION NO ATENDIDA (Número de habitantes)				VALOR
5 001 o más	15 001 o más	25 001 o más	75 001 o más	0.0
3 501 - 5 000	10 001 - 15 000	20 001 - 25 000	65 001 - 75 000	0.1
3 301 - 3 500	7 501 - 10 000	17 001 - 20 000	60 001 - 65 000	0.2
3 001 - 3 300	6 001 - 7 500	16 001 - 17 000	55 001 - 60 000	0.3
2 501 - 3 000	5 001 - 6 000	15 001 - 16 000	50 001 - 55 000	0.4
2 001 - 2 500	4 001 - 5 000	12 001 - 15 000	40 001 - 50 000	0.5
1 501 - 2 000	3 001 - 4 000	9 001 - 12 000	30 001 - 40 000	0.6
1 001 - 1 500	2 001 - 3 000	6 001 - 9 000	20 001 - 30 000	0.7
501 - 1 000	1 001 - 2 000	3 001 - 6 000	10 001 - 20 000	0.8
51 - 500	101 - 1 000	301 - 3 000	1 001 - 10 000	0.9
Menos de 51	Menos de 101	Menos de 301	Menos de 1001	1.0

2 500 - 5 000	5 001 - 15 000	15 001 - 50 000	50 000 - 300 000
---------------	----------------	-----------------	------------------

RANGO DE POBLACION

15
26
TABLA 6. FUNCIONES DE VALOR PARA LOS POSIBLES ESTADOS DE LOS INDICADORES:
AGUA POTABLE, DRENAJE Y PAVIMENTACION

Centro de Población	INDICADORES ¹										Número de Habitantes
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 Candelas	30	0	4	85	2	38.1	-	90	4 100	si	22 900
2 Las Margaritas	60	90	1	97	3	0	-	85	1 800	si	15 700
3 Santa Cecilia	80	10	3	23	1	0	R	32	900	si	7 100
4 San Jorge	50	15	2	87	1	0	M	40	3 300	-	7 000
5 Paso Alto	50	20	1	74	1	0	-	30	2 640	-	6 200
6 Agua Bonita	50	20	1	94	0	0	-	65	2 000	si	5 800
7 Sn. José de la Cal	100	70	2	100	2	14.5	-	55	150	si	5 700
8 Isla Aguada	30	50	2	82	3	17.1	R	100	1 550	si	5 650
9 Sotavento	15	20	2	92	4	12.0	R	100	3 700	si	5 120
10 Bajamita	15	40	1	87	2	2.0	M	25	1 200	-	4 900
11 Laguna Azul	10	35	3	92	1	3.2	-	20	1 000	si	4 750
12 26 de Marzo	0	15	0	77	1	6.1	-	50	4 100	si	4 150
13 Fin de Año	75	50	2	62	2	2.0	B	70	850	si	4 120
14 Champoton	100	60	1	58	1	1.1	R	20	830	si	3 590
15 La Bolita	20	60	1	10	1	3.0	R	15	1 200	si	3 510

- = Inexistencia del servicio. M = Malo. R = Regular. B = Bueno.
1 Ver Tabla 1.

TABLA 5. ESTADO ACTUAL DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO EN LAS LOCALIDADES CONSIDERADAS EN EL EJEMPLO

Centro de población	INDICADORES ¹									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Candelas	0.7	1.0	1.0	0.2	0.33	0.8	0.0	0.1	0.1	1.0
2 Las Margaritas	0.8	0.5	0.25	0.4	0.67	0.0	0.0	0.5	0.5	1.0
3 Santa Cecilia	0.4	0.9	0.75	0.1	0.33	0.0	0.7	0.7	0.8	1.0
4 San Jorge	0.6	0.8	0.5	0.3	0.33	0.0	0.4	0.7	0.2	0.0
5 Paso Alto	0.6	0.8	0.25	0.5	0.33	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0
6 Agua Bonita	0.7	0.8	0.25	0.4	0.00	0.0	0.0	0.6	0.5	1.0
7 Sn. José de la Cal	0.4	0.6	0.5	0.4	0.33	0.3	0.0	0.6	1.0	1.0
8 Isla Aguada	0.8	0.7	0.5	0.6	0.67	0.4	0.7	0.4	0.5	1.0
9 Soatavento	0.9	0.8	0.5	0.5	0.67	0.3	0.7	0.4	0.2	1.0
10 Bajamita	0.8	0.6	0.25	0.1	0.33	0.1	0.4	0.7	0.7	0.0
11 Laguna Azul	0.9	0.6	0.75	0.1	0.33	0.1	0.0	0.8	0.8	1.0
12 26 de Marzo	1.0	0.8	0.0	0.3	0.33	0.1	0.0	0.5	0.1	1.0
13 Fin de Año	0.3	0.5	0.5	0.4	0.33	0.1	1.0	0.4	0.8	1.0
14 Champoton	0.1	0.5	0.25	0.5	0.33	0.1	0.7	0.8	0.8	1.0
15 La Bolita	0.3	0.5	0.25	0.9	0.33	0.1	0.7	0.8	0.7	1.0

¹ Ver Tabla 1.

16

TABLA 8. MATRIZ DE VALORES (PREFERENCIALES) DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO

VALOR	INDICADORES ¹									
	3	4	5	6	7	9	10			
0.0	0	0	0	No existe	No existe	No existe	NO			
0.1	0.1 - 0.3	1 - 7	Más de 4000							
0.2	0.31 - 0.4	8 - 10	3 001 - 4 000							
0.25										
0.3	0.41 - 0.5	11 - 15	2 501 - 3 000							
0.33		1 o 2								
0.4	0.51 - 0.55	16 - 20	Malo	2 001 - 2 500						
0.5	0.56 - 0.6	21 - 25	1 501 - 2 000							
0.6	0.61 - 0.65	26 - 30	1 201 - 1 500							
0.67		3 o 4								
0.7	0.66 - 0.7	31 - 35	Regular	1 001 - 1 200						
0.75										
0.8	0.71 - 0.8	36 - 40	801 - 1 000							
0.9	0.81 - 0.9	41 - 50	501 - 800							
1.0	más de 3	más de 0.9	más de 5	más de 50	Bueno	1 - 500	SI			

¹ Ver Tabla 1.

TABLA 7. FUNCIONES DE VALOR PARA LOS POSIBLES ESTADOS DE OTROS INDICADORES

29

28

4.3 FASE 2 (EVALUACION DEL NIVEL ACTUAL DE DESARROLLO).

La determinación de los valores del estado actual de desarrollo económico y social (VDE (P_0) y VDS (P_0); como se mencionó en el capítulo anterior, requiere de los vectores de ponderación $\underline{\alpha}_1$ y $\underline{\beta}_1$, para cada centro de población CP_i .

Para efectos de ilustración, los *coeficientes de ponderación económica* que en este caso se emplearon, se *consideraron iguales* para todos los centros de población, por lo cual resulta un *único vector de coeficientes de ponderación económica*: $\underline{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{10})$ para todos los centros de población. (Ver Tabla 9).

La determinación de los vectores de *coeficientes de ponderación social* (β_i), se realizó en base a la explotación de la estructura de la información contenida en el SIDDU, especialmente el aspecto que se refiere a los *problemas sentidos por la comunidad*, para efectos de este trabajo se supusieron los señalados en la Tabla 1.

Dada la posibilidad de captación de varios indicadores relativos a las necesidades o problemas específicos de cada localidad, a continuación se propone el siguiente esquema para la obtención de los vectores β_i (los resultados se muestran en la Tabla 10).

Para cada centro de población CP_i :

1. De los indicadores asociados con los problemas sentidos por la comunidad que aparecen en la Tabla 1, seleccionar aquellos que pertenezcan al conjunto de indicadores considerados en este trabajo (Ver Tabla 1).
2. Listar los indicadores en orden creciente de importancia.
3. Asignar a cada indicador de la lista, un valor igual al número de la posición que ocupa, más uno. Es decir, al indicador que ocupe el j -ésimo lugar en la lista, asignarle el valor $j+1$.

Con el objeto de tomar en cuenta, no sólo los problemas sentidos por la comunidad que aparecen en las Tablas I y II, sino también las deficiencias existentes en el nivel de desarrollo de los demás indicadores, se propone:

4. Para cada indicador bajo estudio (Ver Tabla 1) que no aparezca en la lista mencionada en el paso 2, asignarle el valor 0 (cero), si el valor (preferencial) del nivel actual de desarrollo es mayor o igual que 0.5, y el valor $1 - v(a)_{ij}$ en caso contrario.
5. Normalizar los valores obtenidos para que su suma sea igual a la unidad.

La aplicación del proceso anterior resulta en un conjunto de coeficientes de ponderación social como el mostrado en la Tabla 10. Por ejemplo, el indicador "drenaje" para el poblado *Fin de Año*, tiene un coeficiente de ponderación social (en relación a los demás indicadores) igual a 0.19.

Como se muestra en el diagrama de flujo de la Tabla 3, dada la información anterior, se puede fácilmente calcular los valores asociados con el estado actual de desarrollo económico y social del conjunto de localidades en estudio (Ver Tabla 11), así como los potenciales de impacto de desarrollo económico y social para dicho conjunto de poblaciones.

4.4 FASES 3, 4 y 5. EVALUACION DEL IMPACTO DE LOS PROYECTOS.

Para poder realizar las fases 3, 4 y 5 del proceso de evaluación (Ver Tabla 3), se requiere conocer el valor del nivel de desarrollo que se obtendría al realizarse los proyectos. La Tabla 12 presenta dicha información bajo la hipótesis de que *cada proyecto impacta solamente al indicador relacionado con el componente urbano que se pretende desarrollar por medio de la inversión*.

Por ejemplo: en el caso de la primera alternativa, la matriz asociada al estado de desarrollo "con proyecto" es igual a la matriz presentada en la Tabla 5, excepto en el caso del indicador correspondiente al componente "agua potable" en el poblado Las Margaritas (% de población carente del servicio), el cual cambiará de 60 % (nivel actual) a 48.5 % (nivel asociado con el proyecto).

En la misma Tabla 12 se muestran los valores preferenciales correspondientes al nivel de desarrollo que se podría alcanzar con las diferentes alternativas de inversión. En este caso dichos valores serán los únicos cambios que se registran en la matriz de valores preferenciales actuales de desarrollo (Ver Tabla 8).

Con la información anterior se pueden calcular los valores de desarrollo (económico y social) asociados con cada proyecto, así como los indicadores de impacto económico y social para cada una de las alternativas en estudio.

2 La Tabla 11 muestra además valores correspondientes al nivel actual de desarrollo de cada centro de población, con los cuales se puede detectar carencias globales, y éstas últimas emplearse como un componente importante para la generación de proyectos de desarrollo.

INDICADOR		Coeficiente de Ponderación
Número	CONCEPTO	
1	Agua Potable	0.204
2	Drenaje	0.136
3	Acceso por Carretera Pavimentada	0.136
4	Educación Primaria	0.116
5	Líneas de Autobuses que tocan la localidad	0.102
6	Mercados	0.089
7	Rastros	0.078
8	Pavimentación	0.068
9	Médicos	0.051
10	Correos	0.020

TABLA 9. COEFICIENTES DE PONDERACION ECONOMICA DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO

CENTRO DE POBLACION	PROBLEMAS SENTIDOS POR LA COMUNIDAD				
	1	2	3	4	5
1. CANDELAS	Drenaje	Energía Eléctrica	Reservorio Municipal	Agua Potable	Teléfono
2. LAS MARGARITAS	Agua Potable	Energía Eléctrica	Pavimentación	Escuela Primaria	Local Junta pasadera
3. SANTA CECILIA	Rastro	Mercados	Iglesia	Agua Potable	Teléfono
4. SAN JORGE	Energía Eléctrica	Inst. Deportivas	Agua Potable	Rastro	Mercado
5. PASO ALTO	Escuela Primaria	Agua Potable	Mercado	Pavimentación	Ferrocarril
6. AGUA BONITA	Líneas de Autobuses	Teléfono	Dispensario Médico	Centro Social	Energía Eléctrica
7. SAN JOSE DE LA CAL	Agua Potable	Rastro	Botiques Rurales	Médicos	Escuela Primaria
8. ISLA AGUADA	Energía Eléctrica	Rastro	Médicos	Agua Potable	Energía Eléctrica
9. SOTAVIENTO	Pavimentación	Energía Eléctrica	Mercado	Médicos	Drenaje
10. BALAMITA	Reservorio	Correos	Escuela Primaria	Drenaje	Rastro
11. LAGUNA AZUL	Energía Eléctrica	Canales de Irrigación	Centro Social	Agua Potable	Inst. Deportivas
12. 26 DE MARZO	Teléfono	Acceso pavimentado	Líneas de autobuses	Médico	Inst. Deportivas
13. FIN DE AÑO	Agua Potable	Pavimentación	Drenaje	Escuela Primaria	Estacionamiento
14. CHAMPOTON	Agua Potable	Energía Eléctrica	Canchas Deportivas	Drenaje	Centro de Hospital
15. LA BOLITA	Reservorio	Agua Potable	Mercado	Teléfono	Acceso Pavimentado

1: A menos que se especifique otra cosa, se considera "escasez o deficiencia" del indicador señalado.

TABLA 1. PRIORIDAD DE LOS PROBLEMAS SENTIDOS POR LA COMUNIDAD

35

CENTRO DE POBLACION	Desarrollo por Localidad	
	Económico	Social
1. Candelas	0.57476	0.5281
2. Las Margaritas	0.47984	0.5190
3. Santa Cecilia	0.51426	0.3708
4. San Jorge	0.42656	0.3952
5. Paso Alto	0.44186	0.3942
6. Agua Bonita	0.41830	0.0790
7. San José de la Cal	0.44976	0.4082
8. Isla Aguada	0.62724	0.6260
9. Sotavento	0.62544	0.3850
10. Bajamita	0.44746	0.2562
11. Laguna Azul	0.63656	0.4137
12. 26 de Marzo	0.44926	0.1288
13. Fin de Año	0.45216	0.3662
14. Champoton	0.39276	0.2477
15. La Bolita	0.57686	0.4346
VALOR GLOBAL DE DESARROLLO	0.49519	0.3670
POTENCIAL DE IMPACTO	0.50481	0.6330

TABLA 11. ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO SOCIOECONOMICO DE LAS LOCALIDADES CONSIDERADAS

39

CENTRO DE POBLACION	INDICADORES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Candelas	0.21	0.32	0.00	0.09	0.07	0.00	0.11	0.10	0.10	0.00
2 Las Margaritas	0.34	0.00	0.06	0.17	0.00	0.80	0.90	0.26	0.00	0.00
3 Santa Cecilia	0.19	0.00	0.00	0.09	0.06	0.28	0.38	0.00	0.00	0.00
4 San Jorge	0.33	0.00	0.00	0.06	0.05	0.16	0.25	0.00	0.07	0.08
5 Paso Alto	0.22	0.00	0.04	0.28	0.04	0.17	0.05	0.11	0.04	0.05
6 Agua Bonita	0.00	0.00	0.14	0.11	0.37	0.19	0.19	0.00	0.00	0.00
7 San José de la Cal	0.32	0.00	0.00	0.13	0.04	0.05	0.26	0.00	0.20	0.00
8 Isla Aguada	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.39	0.06	0.29	0.00
9 Sotavento	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.36	0.21	0.00
10 Bajamita	0.00	0.18	0.04	0.24	0.04	0.05	0.03	0.00	0.12	0.30
11 Laguna Azul	0.40	0.00	0.00	0.12	0.09	0.12	0.27	0.00	0.00	0.00
12 26 de Marzo	0.00	0.00	0.34	0.06	0.26	0.08	0.09	0.00	0.17	0.00
13 Fin de Año	0.32	0.19	0.00	0.13	0.04	0.06	0.00	0.26	0.00	0.00
14 Champoton	0.41	0.28	0.10	0.00	0.08	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
15 La Bolita	0.41	0.00	0.21	0.00	0.07	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00

1 Ver Tabla 1.

TABLA 10. COEFICIENTES DE PONDERACION SOCIAL DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO

Proyecto Numero	CONCEPTO	CENTRO DE POBLACION	INDICADOR AFFECTADO	ESTADO DEL INDICADOR ¹	VALOR PREFERENCIAL ¹
1	Agua Posible	LA BOLITA	% población carente del servicio	2.3	0.9
2	Agua Posible	LAS MARGARITAS	% población carente del servicio	48.5	0.7
3	Drenaje	SN. JOSE DE LA CAL	% población carente del servicio	28.1	0.8
4	Médicos	PASO ALTO	número de habitantes por médico	1 200	0.7
5	Escuelas	SANTA CECILIA	% población de 7-14 años que asiste a la escuela	62.8	0.6

¹ Con el Proyecto.

TABLA 12. IMPACTO SOCIOECONOMICO DE LOS PROYECTOS CONSIDERADOS

4.5 FASE 6. EVALUACION POR OBJETIVOS MULTIPLES.

De la Tabla 13 puede observarse que los diferentes proyectos tienen asociados diferentes pares de valores de los índices IEE o IES (índices de impacto económico y social por inversión requerida), los cuales pueden graficarse en un sistema coordinado IEE (-), IES (-) como se muestra en la Fig. 5.

En dicha figura, cada proyecto (P_k) está representado por su vector de efectividad correspondiente:

$$J(P_k) = [IIS(P_k), IIE(P_k)]$$

Como puede observarse, el *proyecto prioritario* de inversión será alguno de los proyectos que definen la *frontera eficiente*, independientemente de la importancia relativa de los índices de impacto en cuestión (Ver Tabla 15).

Sin embargo, la selección del mejor proyecto sobre dicha frontera eficiente, dependerá de los procesos asignados a los índices de impacto.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la determinación del orden jerárquico entre los 5 proyectos considerados, puede determinarse aplicando a cada vector de eficiencia $IE(P_k)$ una función del valor $V [IE(P_k)]$, lo cual involucra los coeficientes de ponderación relativa α y $\beta = 1 - \alpha$ de los indicadores IEE e IES respectivamente.

La Tabla 14 muestra los valores que toma dicha función para el vector de eficiencia de cada proyecto y diferentes valores del coeficiente de ponderación α .

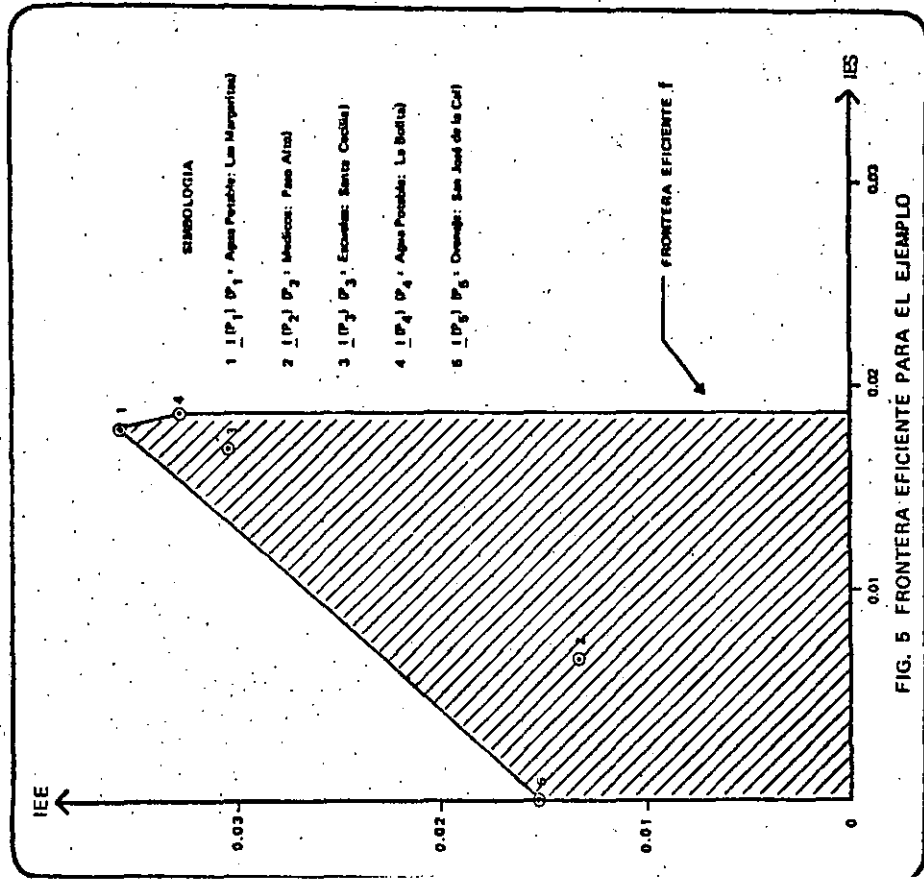


FIG. 5 FRONTERA EFICIENTE PARA EL EJEMPLO

PROYECTO	INVERSION (Miles de pesos)	VDE	VDS	IIE	IIS	IIE/I	IIS/I
0. NO INVERSION	0	0.49519	0.3670	0	0	0	0
1. AGUA POTABLE: La Bolita	325	0.50066	0.3712	108	66	0.0332	0.0203
2. AGUA POTABLE: Las Margaritas	300	0.50066	0.3707	108	58	0.0360	0.0193
3. DRENAJE: San José de la Cal	750	0.50112	0.3670	117	0	0.0156	0
4. MEDICOS: Paso Alto	200	0.49655	0.3681	27	17	0.0135	0.0085
5. ESCUELAS: Santa Cecilia	250	0.49908	0.3700	77	47	0.0308	0.0188

* Se utilizó una constante de proporcionalidad C = 1 000.

- VDE = Valor de Desarrollo Económico
- VDS = Valor de Desarrollo Social
- IIE = Indicador de Impacto Económico
- IIS = Indicador de Impacto Social
- IIE/I = Indicador de Impacto Económico por Inversión (Indicador de Eficiencia Económica)
- IIS/I = Indicador de Impacto Social por Inversión (Indicador de Eficiencia Social)

TABLA 13. EVALUACION DE LOS PROYECTOS*

4.6 FASE 7. PRESENTACION DE RESULTADOS

De la Tabla 14 puede determinarse, como paso final del proceso, de evaluación, el orden prioritario de inversión de los proyectos para diferentes políticas de desarrollo económico y social.

Los resultados se muestran en la Tabla 15, en la cual puede observarse, por ejemplo: que si el desarrollo económico no es de fundamental importancia en relación al peso asignado al desarrollo social, en este caso el Proyecto P₄ tenderá a ocupar un lugar prioritario en el conjunto de proyectos.

A medida que el aspecto económico cobre mayor importancia, el proyecto P₁ ocupará el primer lugar de la lista, seguido del proyecto P₄. Por otra parte, se observa que el proyecto P₃ tiende a ocupar el mismo lugar relativo, sin importar el peso asignado a los diferentes aspectos de desarrollo.

46

Proy.	IEE (P ₁)	IES (P ₁)	V(IEE)	V(IES)	V(IE (P _i)) para diferentes valores de α										
					0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
P ₁	.0360	.0183	.279	.289	.289	.288	.287	.286	.285	.284	.283	.282	.281	.280	.279
P ₂	.0135	.0085	.104	.127	.127	.125	.122	.120	.118	.116	.113	.111	.109	.108	.104
P ₃	.0308	.0188	.239	.281	.281	.277	.273	.268	.264	.260	.256	.252	.247	.243	.239
P ₄	.0332	.0203	.267	.303	.303	.298	.294	.289	.285	.280	.275	.271	.266	.262	.257
P ₅	.0186	0	.121	0	0	.012	.024	.036	.048	.061	.073	.085	.097	.109	.121

TABLA 14. RESULTADOS DE LA EVALUACION PARA DIFERENTES POLITICAS DE DESARROLLO

INCLUSIONES

La metodología descrita en este trabajo permite *jerarquizar proyectos de desarrollo urbano* de naturaleza muy diversa (los cuales se cuantifican por medio de indicadores diferentes y por tanto no comparables entre si), en base a un conjunto de datos sencillos, contenidos en el SIDDU (sistema de información concebido y desarrollado por la Dirección General de Centros de Población dependiente de la SAHOP).

El modelo es sencillo, fácil de usar y puede emplearse como representación aproximada de la realidad siempre y cuando se desarrollen simultáneamente *análisis de sensibilidad* dirigidos a establecer la validez de los resultados. (La sistematización ó *computarización* del modelo permitiría realizar dichos análisis de sensibilidad de manera expedita y tan extensos como se requieran).

Por otra parte, el modelo enfrenta algunas limitaciones, como sería: la hipótesis básica de la *independencia entre atributos* y el ignorar la *incertidumbre* en el problema.

Sin embargo, si se considera el tipo de proyectos que nos ocupa: inversiones pequeñas, en centros de población reducidos e información parcial (para los cuales no se justifican los costos de desarrollar estudios más extensos y que permitan la obtención de "mejor" información como sería funciones conjuntas de preferencias, funciones de probabilidad condicionales, etc., y de esa manera poder pensar en el uso de modelos decisionales más sofisticados), así como al hecho incontrovertible de la urgente necesidad de tomar decisiones inmediatas en materia de desarrollo urbano en nuestro país, el uso de la metodología propuesta en este trabajo, considerándola como una ayuda para tomar mejores decisiones, se justifica.

Por último se debe de mencionar que para que todo lo expuesto en este trabajo desemboque en resultados útiles, es necesario contar con una serie de *normas*, es decir, valores mínimos para los diferentes indicadores que miden el nivel de desarrollo socioeconómico de los centros de población, tales que, permitan establecer diagnósticos del desarrollo urbano de los diferentes poblados y por ende, generar proyectos tendientes a mejorar el nivel de dicho desarrollo.

Lugar de importancia de	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2

Ejemplo: El proyecto P₄ ocupa el primer lugar para α = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4
 P₁ : AGUA POTABLE, LA SOLITA
 P₂ : AGUA POTABLE, LAS MARGARITAS
 P₃ : DRENAJE, SAN JOSE DE LA CAL
 P₄ : MEDICOS, PASO ALTO
 P₅ : ESCUELAS, SANTA CECILIA

TABLA 15. JERARQUIZACION DE LOS PROYECTOS PARA DIFERENTES POLITICAS DE DESARROLLO



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

SISTEMAS DE ESTIMACION DE COSTOS EN ETAPAS DE INFLACION
SU APLICACION Y EFECTO EN EL DESARROLLO DEL SECTOR AGROPECUARIO

DR. JORGE DIAZ PADILLA

NOVIEMBRE, 1984

SISTEMAS DE ESTIMACION DE COSTOS EN ETAPAS DE INFLACION SU APLICACION Y EFECTO EN EL DESARROLLO DEL SECTOR AGROPECUARIO

por el

Dr. Jorge Díaz Padilla

I. INTRODUCCION

La fase de estimación de costos constituye una de las etapas más complejas y de mayor relevancia durante el proceso de análisis y evaluación de proyectos de ingeniería. Generalmente, dichas estimaciones se apoyan en información histórica, en comparaciones con proyectos similares, en factores de experiencia y en el conocimiento de la problemática local. Sin embargo, resulta fácil reconocer que las variables en cuestión son inciertas y que en muchos casos, los valores asignados a dichas variables servirán únicamente como indicadores de sus tendencias y no como estimaciones firmes. En el contexto del estudio de un proyecto de rehabilitación o construcción de una zona de riego, es clara la dificultad que existe en asignar valores exactos a los costos de producción de los cultivos, a los costos de operación y mantenimiento del sistema o simplemente al monto de las inversiones iniciales.

En épocas de inflación, la incertidumbre que rodea al problema se incrementa aún más dado que en estos casos resulta necesario recurrir a la formulación de pronósticos para los costos de los insumos de mayor importancia los cuales, generalmente, son inciertos en mayor o menor grado.

De lo anterior resulta evidente la necesidad de contar con una metodología formal con la cual se pueda tomar en cuenta de manera explícita la incertidumbre de cada una de las componentes del problema y que permita cuantificar la variabilidad total de la eficiencia de cada una de las alternativas de solución para así poder efectuar una toma de decisiones más racional. Asimismo, esta metodología serviría también para identificar a las componentes más relevantes desde el punto de vista de su variabilidad, con lo cual se podrían desarrollar análisis de sensibilidad más completos.

A pesar de esto, las metodologías utilizadas en la práctica para el análisis y evaluación de proyectos se han apoyado tradicionalmente en marcos de referencia de carácter determinístico pues el desarrollo de modelos probabilísticos no se ha dirigido a la solución de problemas reales. Los modelos propuestos, aunque valiosos desde el punto de vista teórico, no han demostrado su factibilidad para utilizarse en la práctica y por lo tanto no han avanzado de un nivel meramente conceptual [7], [8]. Ante esta situación, los efectos de la incertidumbre se han tratado de incorporar indirectamente en los análisis de costos utilizando estimaciones conservadoras de las mismas o recurriendo a análisis de sensibilidad.

En este trabajo se presenta una metodología para la evaluación de proyectos, la cual toma en cuenta explícitamente a la incertidumbre que rodea la estimación de costos de las componentes de los proyectos bajo estudio y permite medir su impacto en la bondad de las alternativas de solución. El modelo que se presenta a continuación es un modelo probabilístico el cual fue ideado y formulado sin perder de vista ni la *factibilidad* ni la *facilidad* de su aplicación a casos reales. Para esto, fué necesario recurrir a un enfoque aproximado de primer orden cuyos detalles matemáticos se discuten en la sección siguiente. Las características fundamentales de un enfoque de este tipo son que las variables aleatorias se caracterizan únicamente por sus dos primeros momentos (en

contraposición con su función completa de densidad de probabilidades) y que la no linealidad de una función de variables aleatorias se elimina desarrollando dicha función en una serie de Taylor. Este enfoque permite desarrollar modelos probabilísticos sumamente poderosos y aplicables a problemas reales aún en aquellos casos en que la información con que se cuente sea escasa o poco confiable [4], [5]. Los conceptos fundamentales del modelo probabilístico se presentan en la Sección 3 y por último en la Sección 4 se hacen algunos comentarios finales. La metodología desarrollada ha sido ya probada y utilizada durante el proceso de evaluación y selección de inversiones en el Valle del Guadiana, Dgo. [6] y actualmente se está utilizando en los estudios de las zonas de Aguamilpa, Nay. y Piaxtla-Elota, Sin.*

2. EL ENFOQUE PROBABILISTICO DE PRIMER ORDEN

El enfoque adoptado para la formulación matemática del modelo tiene las características siguientes ([2], [3]):

- a. La incertidumbre de cualquier variable aleatoria se mide únicamente a través de su coeficiente de variación.
- b. La no linealidad de una función de variables aleatorias se elimina desarrollando dicha función en una serie de Taylor alrededor de los valores esperados de las variables y conservando de dicho desarrollo únicamente los términos de primer orden.

El primero de los puntos anteriores implica que en un análisis probabilístico de primer orden, la componente aleatoria de cualquier variable X (la desviación de la variable de su valor esperado, $\mu[X]$) se mide únicamente a través de su varianza:

* para las Direcciones Generales de Estudios y de Planeación de la Subsecretaría de Planeación de la S.R.H., respectivamente.

$$E. [(X - \mu [X])^2] = \sigma^2 [X] \quad (2.1)$$

en donde $E[.]$ es el operador "valor esperado" y $\sigma^2[X]$ representa la varianza de la variable X . Es decir, el comportamiento de la variable aleatoria se define únicamente con su valor esperado $\mu[X]$ y su coeficiente de variación $v[X] = \sqrt{\sigma^2[X]} / \mu[X]$ (o equivalentemente, por su desviación estandar $\sigma[X] = \sqrt{\sigma^2[X]} = v[X]\mu[X]$) y no por su función completa de densidad de probabilidades. Esto constituye una gran ventaja pues implica que la utilización de modelos probabilísticos de este tipo no requieren del conocimiento de la forma de las distribuciones de las variables sino únicamente de sus dos primeros momentos.

Por otro lado, para el caso de dos o más variables, adicionalmente a los valores esperados y a los coeficientes de variación será necesario especificar los coeficientes de correlación, $\rho[.,.]$, como medidas de la dependencia probabilística entre dichas variables.

La segunda característica de un análisis de primer orden significa que cuando se tengan funciones no lineales de las variables aleatorias, primero habrá que eliminar la no linealidad de dichas funciones por medio de expansiones en series de Taylor. Por ejemplo, para el caso de una función de una sola variable independiente, $Z = h(X)$, el desarrollo en serie de Taylor está dado por:

$$h(\mu[X]) + (\partial h / \partial X)_{\mu[.]} (X - \mu[X]) + (\partial^2 h / \partial X^2)_{\mu[.]} (X - \mu[X])^2 / 2! + \dots \quad (2.2)$$

en donde la expansión se hace alrededor del valor esperado de la variable aleatoria X y $(\partial h / \partial X)_{\mu[.]}$ representa la derivada de la función $h(.)$ con respecto a la variable X y evaluada en su valor esperado. Una vez linealizada la función, se conservan únicamente los términos de primer orden (los términos lineales) y se procede a calcular la esperanza y la varianza de la expresión resultante por medio de métodos conocidos [1].

Los conceptos anteriores se discuten e ilustran a continuación por medio del cálculo de la incertidumbre asociada con la estimación de los beneficios derivados

de cierto cultivo. En este caso, dichos beneficios están dados por la expresión siguiente:

$$B_n = A (RP - C_p) \quad (2.3)$$

en donde B_n representa los beneficios netos obtenidos del cultivo (\$), A el área sembrada (has), R el rendimiento del cultivo (ton/ha), P el precio de venta (\$/ton) y C_p el costo unitario de producción (\$/ha). En el contexto de una evaluación desde el punto de vista nacional, es necesario ajustar los precios de mercado de los costos de producción para que reflejen su verdadero costo de oportunidad social. Tomando en cuenta únicamente la corrección debida al costo de la mano de obra no calificada, la expresión (2.3) toma la forma siguiente:

$$B_n^{(s)} = A (RP - C_p) - \lambda (AC_p \Omega) = A \{RP - C_p (1 + \lambda \Omega)\} \quad (2.4)$$

en donde $B_n^{(s)}$ representa la contribución al consumo agregado nacional de los beneficios netos obtenidos del cultivo, λ el factor que corrige el costo a precios de mercado de la mano de obra no calificada a su verdadero costo de oportunidad y Ω el porcentaje de participación de este tipo de mano de obra en los costos de producción.

En un análisis probabilístico de primer orden, si las variables C_p , λ y Ω se tratan como variables aleatorias, de acuerdo con lo discutido anteriormente el comportamiento estocástico de dichas variables queda definido por sus valores esperados y sus coeficientes de variación. Los valores esperados son simplemente los valores promedio de las variables y los coeficientes de variación se pueden estimar estadísticamente (si se cuenta con la información adecuada) o bien de manera subjetiva en caso contrario [9]. Como la función es no lineal, para calcular aproximadamente los dos primeros momentos de la variable aleatoria dependiente, $B_n^{(s)}$, es necesario en primer lugar desarrollar la expresión (2.4) en una serie de Taylor (ec. (2.2)):

$$B_n^{(s)} \doteq A \{RP - \mu[C_p] (1 + \mu[\lambda] \mu[\Omega])\} + (C_p - \mu[C_p]) (\partial B_n^{(s)} / \partial C_p)_{\mu[\cdot]} +$$

$$+ (\lambda - \mu[\lambda]) (\partial B_n^{(s)} / \partial \lambda)_{\mu[\cdot]} + (\Omega - \mu[\Omega]) (\partial B_n^{(s)} / \partial \Omega)_{\mu[\cdot]} \quad (2.5)$$

en donde ya se han eliminado los términos no lineales. Efectuando las derivaciones:

$$B_n^{(s)} \doteq A \{RP - \mu[C_p] (1 + \mu[\lambda] \mu[\Omega])\} - (C_p - \mu[C_p]) A \mu[\lambda] \mu[\Omega] -$$

$$- (\lambda - \mu[\lambda]) A \mu[C_p] \mu[\Omega] - (\Omega - \mu[\Omega]) A \mu[C_p] \mu[\lambda] \quad (2.6)$$

La expresión resultante es una aproximación de primer orden a la función original.

Como la ec. (2.6) es lineal en las variables aleatorias, el cálculo del valor esperado y de la varianza de la variable dependiente ya no presente dificultad. En este caso,

$$\mu[B_n^{(s)}] \doteq A \{RP - \mu[C_p] (1 + \mu[\lambda] \mu[\Omega])\} \quad (2.7)$$

$$\sigma^2[B_n^{(s)}] \doteq A^2 \{ \mu^2[\lambda] \mu^2[\Omega] \sigma^2[C_p] + \mu^2[C_p] \mu^2[\Omega] \sigma^2[\lambda] + \mu^2[C_p] \mu^2[\lambda] \sigma^2[\Omega] \} \quad (2.8)$$

en donde se supone que las tres variables aleatorias son estocásticamente independientes. Si se substituyen en estas expresiones los valores de los parámetros indicados en la Tabla 2.1, y suponiendo que $A = 50$ has, $R = 20$ ton/ha y $P = \$1000/\text{ton}$, se obtienen los resultados siguientes:

$$\mu[B_n^{(s)}] \doteq 50 \{20 \times 1000 - 10\,000 (1.0 - 1.0 \times 0.5)\} = \$ 750\,000$$

$$\sigma^2[B_n^{(s)}] \doteq (50)^2 \{ (1.0)^2 (0.5)^2 (10\,000)^2 (0.3)^2 + (10\,000)^2 (0.5)^2 (1.0)^2 (0.1)^2 +$$

$$+ (10\,000)^2 (1.0)^2 (0.5)^2 (0.2)^2 \} = 8\,750\,000\,000 \text{ \2$

de donde,

$$\sqrt{\sigma^2[B_n^{(s)}]} \doteq \frac{\sqrt{8\,750\,000\,000}}{750\,000} = \frac{93\,541}{750\,000} = 0.12$$

De lo anterior resultan evidentes las ventajas del enfoque. Adoptando las hipótesis de un modelo de primer orden, resulta sencillo el cálculo de la variabilidad de una función de variables aleatorias en términos de las variabilidades de sus componentes individuales. La estimación de los

coeficientes de variación de dichas componentes resulta fácil y conduce a resultados generalmente confiables. Sin embargo, la estimación "directa" del coeficiente de variación de la variable dependiente es difícil y puede llevar a resultados erróneos.

La facilidad con que puede estimarse la variabilidad de una función de variables aleatorias permite efectuar fácilmente análisis de sensibilidad desde el punto de vista de la incertidumbre. Por medio de este tipo de análisis es posible detectar aquellas componentes cuya incertidumbre tiene un efecto importante en la variabilidad total resultante y a aquellas otras que, a pesar de ser inciertas, pueden tratarse como determinísticas dado que sus efectos son despreciables en el cálculo de la incertidumbre total de la función. Por ejemplo, de los cálculos anteriores resulta lo siguiente:

$$\sigma^2[B_n^{(s)}] = 5\,625\,000\,000 + 625\,000\,000 + 2\,500\,000\,000 = 8\,750\,000\,000 \text{ \2$

de donde puede verse que la incertidumbre asociada a los costos de producción es importante ($5\,625/8\,750 = 0.64$) y que la del factor λ es despreciable desde un punto de vista práctico ($625/8\,750 = 0.07$).

Por otro lado, el coeficiente de variación de la variable $B_n^{(s)}$ resulta con un valor menor que los de las variables de mayor importancia, lo cual no es evidente a priori.

Variable	μ [.]	v [.]
C_p	\$10 000/ha	0.3
λ	- 1.0*	0.1
Ω	0.5	0.2

TABLA 2.1 VALORES ASIGNADOS A LOS PARAMETROS

* Este valor implica un exceso de mano de obra no calificada en la zona bajo estudio.

3. EL MODELO DE EVALUACION

En esta sección se presenta someramente un modelo de evaluación de proyectos en el cual los costos se tratan como variables aleatorias. El beneficio neto marginal de la situación "con proyecto" comparado con la situación "sin proyecto" se cuantificó mediante el indicador "valor presente neto de los beneficios asociados con el consumo agregado" (VPN_s). En este caso, la expresión correspondiente es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 VPN_s = & \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\theta(t)}{(1+i)^t} \left[\sum_{j=1}^J A_j (R_j P_j - \bar{C}_{pj}) \right] - \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{1}{(1+i)^t} \left[\sum_{j=1}^{\hat{J}} \hat{A}_j (\hat{R}_j \hat{P}_j - \bar{\hat{C}}_{pj}) \right] - \\
 & - \sum_{t=t_0}^{t'} \frac{\bar{C}_i(t)}{(1+i)^t} - \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\bar{O}}{(1+i)^t} \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

en donde,

A_j = área sembrada con el cultivo j

R_j = rendimiento del j -ésimo cultivo

P_j = precio de mercado del j -ésimo cultivo

C_{pj} = costos de producción del j -ésimo cultivo

$\theta(t)$ = función de aprendizaje evaluada en el período t

J = número de cultivos

$C_i(t)$ = costos iniciales en el año t

O = costos periódicos de operación y mantenimiento del proyecto

t_f = período en que termina la vida útil del proyecto

t_i = período en que se inicia la operación del proyecto

t' = período en que se termina la construcción del proyecto

t_0 = período en que se inicia la construcción del proyecto

i = tasa de descuento

y los símbolos $\hat{\cdot}$ y $\bar{\cdot}$ sobre algunas de las variables indican que dichas cantidades se refieren a la producción actual y a que las variables ya han sido corregidas.

en base a sus costos de oportunidad, respectivamente.

En la formulación de un modelo de primer orden, es posible generar expresiones para el cálculo de la esperanza y de la varianza del VPN_S . Aplicando la metodología indicada en la sección anterior y utilizando la ec. (3.1) se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \mu[VPN_S] = & \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\theta(t)}{(1+i)^t} \left\{ \sum_{j=1}^J A_j (R_j P_j - \mu[\bar{C}_{pj}]) \right\} - \left[\sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{1}{(1+i)^t} \left[\sum_{j=1}^J \hat{A}_j (\hat{R}_j \hat{P}_j - \bar{C}_{pj}) \right] \right. \\ & \left. - \sum_{t=t_0}^{t'} \frac{\mu[\bar{C}_1(t)]}{(1+i)^t} - \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\mu[\bar{O}]}{(1+i)^t} \right] \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \sigma^2[VPN_S] = & \left[\sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\theta(t)}{(1+i)^t} \right]^2 \left\{ \sum_{j=1}^J A_j^2 \sigma^2[\bar{C}_{pj}] \right\} + \left\{ \sum_{t=t_0}^{t'} \sum_{l=t_0}^{t'} \frac{\sigma[\bar{C}_1(t)] \sigma[\bar{C}_1(l)]}{(1+i)^t (1+i)^l} \right\} + \\ & + \left[\sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{1}{(1+i)^t} \right]^2 \sigma^2[\bar{O}] \end{aligned} \quad (3.3)$$

en donde se supone que todos los conceptos de costo son inciertos pero probabilísticamente independientes unos de otros para cualquier período de tiempo. Por otro lado, también se supone que una misma componente se encuentra perfectamente correlacionada a lo largo del horizonte de evaluación.

Para cada alternativa resulta sencillo el cálculo de los dos parámetros anteriores. Los resultados pueden visualizarse fácilmente graficando, para cada proyecto, el valor esperado y la desviación estándar del VPN_S en un espacio coordinado $\mu[.] - \sigma[.]$ (ver Fig. 3.1). En este caso, si en dicho espacio se trazan rectas de la forma:

$$\mu[VPN_S] - \beta \sigma[VPN_S] = 0 \quad (3.4)$$

para diferentes valores del parámetro β , será posible definir zonas de aceptación y rechazo de proyectos para diferentes niveles de riesgo. Por ejemplo, si se supone que la variable VPN_S tiene una distribución del tipo normal, entonces los proyectos cuyas coordenadas $(\mu[VPN_S], \sigma[VPN_S])$ se localizan por debajo de la

recta con ecuación $\mu[\text{VPN}_S] - 2\sigma[\text{VPN}_S] = 0$ tiene una probabilidad superior al 98 % de que su VPN_S resultante sea positivo*.

En la Fig. 3.1 se muestran los resultados de este tipo de evaluación para las rehabilitaciones de dos zonas de riego. De la figura puede apreciarse que el proyecto II es aceptable según este tipo de evaluación pero que el proyecto I, a pesar de tener un alto valor esperado del VPN_S , tiene también un fuerte nivel de incertidumbre y por lo tanto debe de ser rechazado.

4. COMENTARIOS FINALES.

De los resultados obtenidos puede verse que la metodología propuesta es sumamente *pragmática y factible* de aplicar a problemas reales. Con el enfoque aquí sugerido, la única información que se necesita para incorporar los efectos de la incertidumbre en la estimación de costos son ciertas medidas de la variabilidad de cada una de las componentes (en forma de coeficientes de variación, por ejemplo) y de los niveles de correlación entre las variables. Para esto último, será importante entender a los fenómenos que controlan las relaciones entre las variables y, en última instancia, invocar hipótesis de independencia o de dependencia perfecta según sea el caso. Sin embargo, estas hipótesis se formularán para las componentes individuales de los costos y no

* Dado que el valor presente neto es una suma de un número grande de variables, a pesar de que se desconozca la forma de la función de densidad de probabilidades para cada beneficio neto en cada uno de los períodos, en virtud del Teorema del Límite Central es muy razonable suponer que la variable VPN seguirá muy de cerca un comportamiento probabilístico de tipo normal [1]. Sin embargo, si no se desea invocar esta hipótesis de normalidad, se puede utilizar el Teorema de Chebyshev para efectuar el cálculo de probabilidades en forma aproximada. Para el caso de $\beta=2$, esta aproximación conduce a un valor de la probabilidad de éxito igual a 0.75.

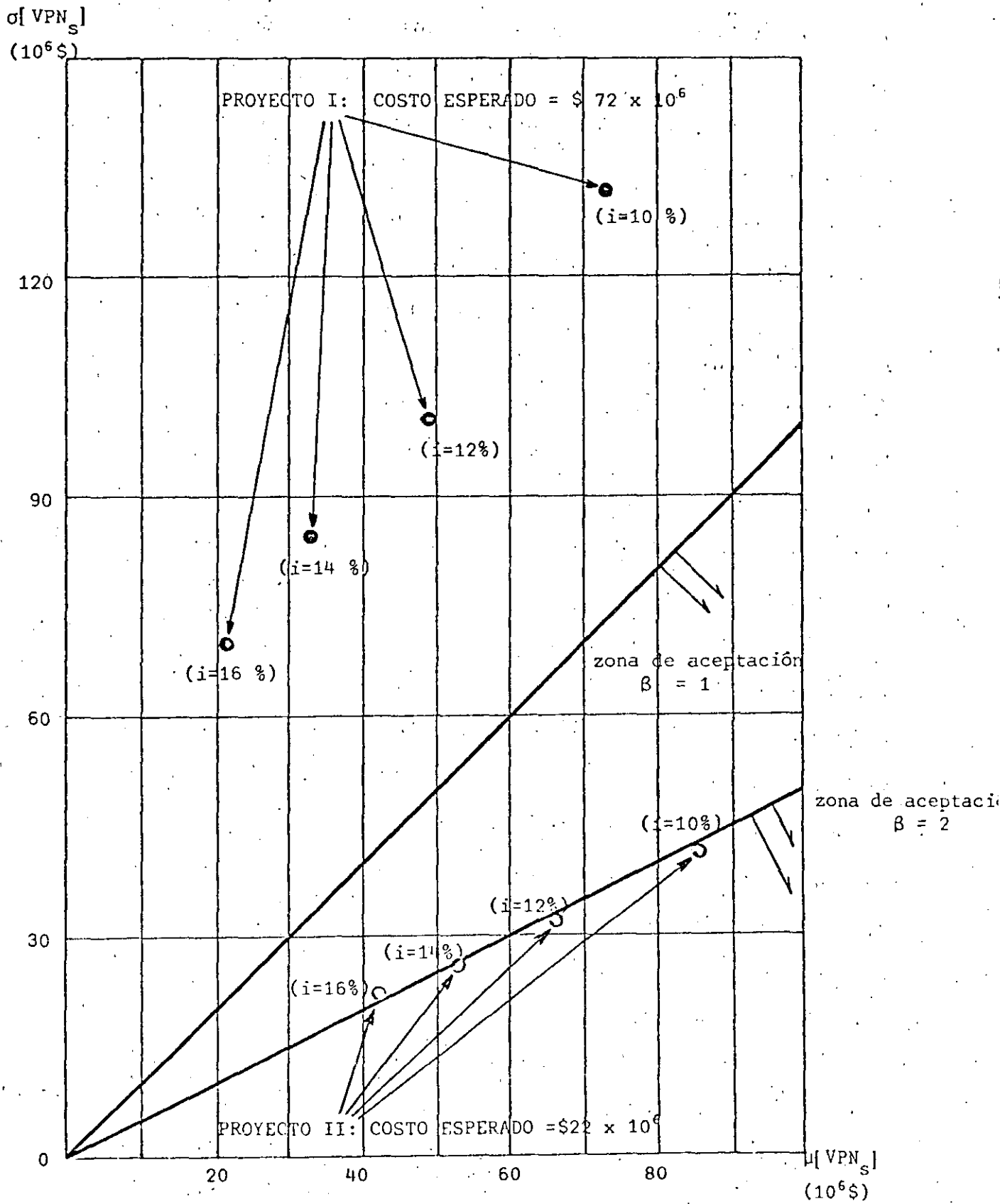


FIG. 3.1 RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LAS REHABILITACIONES DE DOS ZONAS DE RIEGO

para los flujos netos de capital*. Aunque sea de manera aproximada, los efectos de la correlación deben de incluirse en los análisis. En algunas ocasiones, será razonable aceptar la hipótesis de independencia probabilística para algunas de las variables y para un momento dado, pero en general no será posible argumentar esta hipótesis para los costos incurridos durante varios períodos de tiempo. Es decir, debido a que estas variables pueden ser funciones de las mismas componentes durante diferentes períodos de tiempo, en general la correlación puede ser alta y el no tomarla en cuenta puede conducir a variabilidades de las eficiencias de las alternativas mucho menores que las verdaderas y por lo tanto del lado de la inseguridad.

Vale la pena mencionar nuevamente que los resultados obtenidos con este tipo de análisis constituyen aproximaciones a las soluciones exactas. El grado de aproximación dependerá del grado de no linealidad de las funciones y de la forma que tengan las funciones de densidad de probabilidades de las variables. Por ejemplo, si se tiene una función lineal, de variables gaussianas entonces los resultados obtenidos por medio de un análisis de primer orden coincidirán con los exactos. Al ir perdiendo la función su carácter lineal, al irse alejando las funciones de probabilidad de distribuciones simétricas y unimodales, y al ir aumentando la incertidumbre de las variables, los resultados se van haciendo cada vez menos exactos. Sin embargo, el análisis de problemas prácticos dentro de un marco de incertidumbre tiene necesariamente que apoyarse en enfoques pragmáticos como el señalado en este trabajo, principalmente en aquellas situaciones en que la información sea escasa o poco confiable.

* Los modelos probabilísticos propuestos a la fecha se basan en la hipótesis de que "se conoce" la variabilidad de los flujos netos de capital para cada uno de los períodos que definen el horizonte de evaluación. Sin embargo, esta suposición es poco realista en la práctica pues aunque sí es factible estimar la incertidumbre de las componentes individuales que integran a cada uno de los costos, no es sencillo efectuar dicha estimación para los flujos de capital los cuales, en algunos casos, pueden ser funciones complejas de sus componentes.

5. REFERENCIAS

- [1] Benjamín, J.R. y C.A. Cornell, "Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers", Mc Graw-Hill Book Co., 1970.
- [2] Cornell, C.A., "First-Order Analysis of Model and Parameter Uncertainty", International Symposium on Uncertainties in Hydrologic and Water Resource Systems, Universidad de Arizona, Tucson, Dic. 1972.
- [3] Cornell, C.A., "Notes on First-Order Uncertainty Analysis", notas no publicadas, Insituto Tecnológico de Massachusetts, Cambridge, 1971.
- [4] Díaz Padilla, J., "Análisis de Inversiones Bajo Condiciones de Incertidumbre", XIV Convención Nacional del IMIQ, Guadalajara, Jal., Nov. 1974.
- [5] F.O.A., Consultores, "Modelos de Reglamentación y de Decisión Bajo Incertidumbre para la Resolución de Solicitudes de Uso del Agua", informe interno a la S.R.H., Subsecretaría de Planeación, Dir. Gral. de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, Dic. 1974.
- [6] F.O.A., Consultores, "Evaluación y Selección de Inversiones en Recursos Hidráulicos para el Valle del Guadiana, Dgo.", informe interno a la S.R.H., Subsecretaría de Planeación, Dir. Gral. de Planeación, Dic. 1974.
- [7] Mao, J.C.T., "Quantitative Analysis of Financial Decisions", Capítulo 8, Investment Decisions Under Conditions of Uncertainty, The Macmillan Co., 1969.
- [8] Oakford, R.V., "Capital Budgeting", Capítulo 11, Probabilistic Treatment of Uncertainty, The Ronald Press Co., 1970.
- [9] Paiffa, H., "Decision Analysis, Introductory Lectures on Choices Under Uncertainty", Addison-Wesley Press Inc., 1968.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

PROSPECTIVA Y PLANEACION TECNOLOGICA

ING. JOSE ANTONIO ESTEVA MARABOTO

NOVIEMBRE, 1984

PROSPECTIVA Y PLANEACION TECNOLOGICA

2.

Es un hecho indiscutible que las acciones y las decisiones que tomamos ahora influyen sobre el futuro.

El futuro, de hecho, es el único tiempo sobre el cual podemos tener alguna capacidad de maniobra.

En otras épocas, el futuro se temía, se esperaba, se trataba de adivinar; hoy, más que cualquier otra cosa, tratamos de diseñarlo y de influir en él.

Los diferentes fenómenos y actividades cuyo desarrollo nos interesa en el futuro pueden ocurrir de diferentes maneras; si no fuera así, no tendríamos necesidad de tomar decisiones; bastaría esperar pasivamente y asimilar los acontecimientos.

Todas nuestras acciones, aunque sea implícitamente, se basan en decisiones, sólo actuamos, en un sentido o en otro, si queremos, lo que significa haber tomado una opción. Incluso cuando decidimos no actuar, estamos optando. Irremediablemente, nuestras acciones y nuestras decisiones tienen impactos sobre el futuro. Pueden ser más o menos significativos, más o menos inmediatos. Puesto que es así, vale la pena decidir tomando en cuenta las consecuencias de las decisiones.

Decidir es optar por un camino entre varios posibles (en algunos casos, por un fin entre varios posibles). Generalmente tomar un camino significa renunciar a todos los demás posibles; a veces, esto condiciona el futuro en el sentido de cerrar otras posibilidades posteriores.

La decisión es la voluntad de actuar en un cierto sentido. Planear es decidir anticipadamente acciones o, más aún, cursos de acción.

En este sentido, no puede aceptarse el esquema muy difundido de separar, incluso organizacionalmente la planeación de la acción. Planear no puede ser un pretexto para no actuar, sino una forma de centrar y orientar las decisiones y las acciones.

Por ello, la acción de planear necesita un fin. Difícilmente podrían decidirse cursos de acción sin perseguir algo.

Incluso las acciones que tomamos todos los días, aparentemente sin un fin explícito, persiguen fines. Actuamos de acuerdo con nuestros valores y nuestros objetivos de vida.

Nuestras acciones además, tienen consecuencias, efectos múltiples.

Planear es decidir anticipadamente sobre acciones a tomar ahora o después, que tienen efectos sobre el futuro, con el propósito de alcanzar fines, tomando en cuenta sus posibles consecuencias y los posibles obstáculos o impulsos que se presentarán durante el proceso.

DOS PARADIGMAS DE PLANEACION

Podemos relacionarnos con el futuro de muchas maneras:

Algunos lo ven solamente como el desenlace fatal de las tendencias actuales.

Otros, como algo desconocido, incontrolable, que va planteando a lo largo del camino problemas que deben resolverse sobre la marcha (es decir, una especie de sucesión de "presentes", sin mucha relación entre sí). También puede verse como el resultado de las acciones y decisiones de los participantes. Finalmente, puede contemplarse como objeto de intencionalidad y, en este sentido, puede diseñarse. Estas actitudes suelen designarse respectivamente como inactividad, reactividad, preactividad y proactividad.

Las dos primeras no admiten ni necesitan planeación. Sin embargo, pueden estudiarse a través del pronóstico y de la previsión.

Las dos últimas y sobre todo la cuarta son el objeto de la planeación y de la prospectiva.

El paradigma causal de la planeación considera al futuro como el resultado de conjuntarse decisiones y acciones sucesivas de diversos actores. Compara distintos cursos de acción propuestos desde el punto de vista de sus efectos esperados y, en su caso, opta por los que considere más adecuados.

Como se verá después, la comparación de los cursos de acción implica la posibilidad de medir en alguna forma sus resultados, lo que suele hacerse en términos de probabilidad y de utilidad.

El paradigma teleológico, en cambio, parte de la definición de los fines. Establece puntos de llegada y busca, de acuerdo con ellos, una o varias opciones que puedan conducir a ellos. De alguna manera, la utilidad se considera como valor de partida y los indicadores de comparación son principalmente la probabilidad y el costo (en sentido amplio).

La planeación asociada al primer paradigma es la de uso más generalizado; la teleológica es la que recientemente se ha designado como estratégica y es uno de los intereses fundamentales de la prospectiva.

En uno y otro casos, el trabajo de planeación exige desarrollar ciertas funciones concretas sin las cuales no puede emprenderse:

- Definición del objeto focal, entendido como el conjunto de elementos y variables sobre las cuales se quiere que incida el plan.
- Definición del entorno significativo, o sea el conjunto de elementos y variables que, sin pertenecer estrictamente al objeto focal, mantienen con él relaciones tales que puedan condicionar el éxito del plan o verse afectados significativamente por él.
- Identificación de las variables e indicadores significativos, que se consideren suficientes y representativos para estudiar el proceso que se trate.
- Proposición de opciones (ya sean causales o teleológicas).
- Comparación y evaluación de las opciones.

- Selección en su caso de una de ellas.

Puesto que el futuro no existe y depende de múltiples variables, no es difícil aceptar que presenta opciones múltiples.

Dadas las circunstancias actuales, las expectativas futuras, los actores que influyen, los grupos afectados y los posibles acontecimientos excepcionales, unos futuros son más probables que otros o el alcance de una meta es más probable en un momento que en otro.

De la misma manera distintos caminos propuestos para alcanzar el mismo fin pueden tener costos diversos o distintas acciones y decisiones tomadas ahora pueden tener consecuencias valoradas en forma diferente por los actores y por los afectados.

Si esto es así, es posible pensar en una forma de compararlos.

Para los especialistas suficientemente enterados de un cierto fenómeno, casi siempre es fácil hacer afirmaciones del tipo "A es más probable que B"; si estas afirmaciones pueden hacerse para múltiples opciones, llega el momento en que se plantea la necesidad de preguntar "cuánto más probable es A que B", lo que puede hacerse en "veces" o, más comúnmente, asignando a la probabilidad de que ocurra cada una un valor escalar entre cero y uno.

En el caso de la utilidad, participan otros elementos. No se trata ya de evaluaciones de los especialistas acerca de la probabilidad comparativa, sino de expresión de los participantes en el ejercicio acerca de sus preferencias relativas. Esto plantea dos grandes problemas: el de los criterios a partir de los cuales se estima la utilidad y el de los participantes en la enunciación de las preferencias.

Si bien los especialistas pueden válidamente asignar probabilidades, las preferencias más importantes para un buen plan debieran ser las de los propios afectados por su realización.

COMPLEJIDAD E INCERTIDUMBRE

Desde el principio, el futuro ha intrigado al hombre. Durante mucho tiempo, buscó la manera de predecirlo, de adivinarlo. Siempre ha habido casos de predicciones sencillas y cercanas que resultaron acertadas, pero está claro que el futuro no puede adivinarse porque depende sólo en parte del pasado y el presente, pero puede construirse a partir de la intencionalidad de los actores.

Hablamos de la posibilidad de planear el futuro; de evaluar distintos cursos de acción o distintos fines posibles. Afirmaremos más adelante que es posible realizar estas tareas, proponer cambios cualitativos, prever discontinuidades.

Peró un plan no puede ser algo terminado ni invariable; está sujeto a múltiples factores:

- Puede ser necesario decidir sin información suficiente.
- Una o varias de las decisiones que integran el plan pueden ser equivocadas o no producir los resultados esperados o no totalmente.

- Puede haber otros actores interesados en el mismo campo, que busquen maximizar cosas diferentes o pongan en juego distintos valores o distintos intereses.
- Puede haber acontecimientos imprevistos.
- O simplemente, puede ser que los resultados de las primeras acciones modifiquen el entorno de tal manera que las acciones posteriores, por no partir de la misma situación original, produzcan consecuencias distintas de las previstas.

Si estos aspectos dejan de tomarse en cuenta el plan tiene poca utilidad y las decisiones que de todas maneras haya que tomar sobre la marcha resultan dispersas.

En cambio, si tomamos en cuenta todos estos aspectos, el plan se hace muy complejo y plantea exigencias crecientes de instrumental adecuado para manejarlo.

Existen métodos de planeación simplificados, basados en la selección de unas cuantas variables, analizadas casi siempre una por una, sin tomar en cuenta sus interrelaciones. Los planes basados en estos métodos tienen utilidad muy limitada.

La definición sobre el grado máximo de complejidad que se considerará en en la planeación tiene importancia decisiva sobre su relevancia.

De la misma manera, la evaluación cuantitativa de la incertidumbre siempre presente en la planeación, permite realizar comparaciones y tomar decisiones con mayor seguridad.

LA PLANEACION TECNOLOGICA

Es generalmente admitido que en la medida que se aleja el horizonte de tiempo de la planeación crecen la incertidumbre y la complejidad.

De alguna manera esto significa que la planeación es particularmente útil en fenómenos con una de las dos características siguientes:

- Procesos de desarrollo o de maduración largos.
- Efectos en el largo plazo o acumulativos hasta valores significativos en el largo plazo.

La tecnología es un caso muy significativo de ambos aspectos.

La tecnología permite resolver problemas y aprovechar oportunidades a partir de conocimientos disponibles y siempre en proceso de crecimiento y perfeccionamiento. A través de ella pueden utilizarse mejor los recursos, crear satisfactores de necesidades, reducir el esfuerzo necesario, etc. Para que una sociedad pueda beneficiarse con más ventajas de la tecnología, es indispensable que transcurra un cierto tiempo:

- Para educar a las personas que hayan de utilizarla, integrar y organizar la capacidad de asimilarla.

- Para desarrollar nuevos productos, procesos, técnicas, principios, etc. ensayarlos e introducirlos a la aplicación.

Planeación tecnológica puede significar distintas cosas para diferentes actores.

- Para los responsables de la política tecnológica, significa la definición de marcos generales, la identificación de fines del desarrollo tecnológico y la implantación de programas específicos de acuerdo con la política.
- Para los institutos de investigación, significa la identificación de las prioridades temáticas y prácticas de sus programas y la elección de las mejores combinaciones beneficio-costó.
- Para las empresas suministradoras de productos y servicios, significa el desarrollo de su capacidad de resolver problemas o de competir en los campos de avanzada.

De acuerdo con estas preferencias, los actores podrían estar interesados en planear investigaciones, desarrollos de innovaciones, mejoras, comercialización, reducción de costos, etc.

Ade más de los aspectos anteriores, que representarían principalmente fines de la planeación, es preciso tomar en cuenta efectos como la contaminación, modificación de las políticas de empleo, uso de materias primas estratégicas, costos sociales, etc.

Dado el ritmo intenso del avance de la ciencia y la tecnología en nuestro tiempo, los decisores enfrentan continuamente situaciones en las que hay que hacer opciones tecnológicas, las que resultan críticas y en muchos casos condicionan situaciones posteriores, por los altos costos de inversión que suelen llevar asociados, es decir la planeación tecnológica es una de las aplicaciones naturales de la planeación estratégica o prospectiva.

Puede enfocarse esta planeación desde tres puntos de vista principales:

- La selección de problemas (know what).
- Las decisiones estratégicas (know why).
- La selección de combinaciones específicas de conocimientos (know how).

Como se verá más adelante, estos tres enfoques son distintos y complementarios entre sí.

LA SELECCION DE PROBLEMAS

Una buena parte de los desarrollos tecnológicos modernos se originan en necesidades debidamente identificadas, que han generado procesos de investigación y desarrollo para desembocar finalmente en satisfactorios adecuados. Es decir, la tecnología de los países desarrollados suele ser una respuesta a las necesidades identificadas.

Quando tales tecnologías pretenden ser aplicadas en otros países, las condiciones pueden ser suficientemente diferentes como para hacer inadecuadas las soluciones. Esta situación se remedia a veces a través de esfuerzos de comercialización que en alguna medida "ajustan" la necesidad de los consumidores a la tecnología disponible.

Sin embargo, aún en estos casos, se elimina una etapa importante del proceso tecnológico que es la selección de problemas.

En el otro extremo, en los países en desarrollo algunos autores sostienen la pertinencia de programas de investigación completamente originales, lo que en muchos casos hace que se consuma talento, energías y recursos económicos en hacer investigaciones que ya están hechas y cuyos resultados están publicados y por tanto disponibles libremente para todos.

La selección de problemas es importante para garantizar que las soluciones que se apliquen sean las respuestas que se necesitan. Adoptar indiscriminadamente tecnologías desarrolladas en otras partes equivale a adoptar sus preguntas, o a tratar de responder a nuestras preguntas con sus respuestas y, en muchos casos, dejar nuestras preguntas sin respuesta.

No podemos hacer planeación tecnológica sin una selección previa de los problemas:

- Enunciación de los más significativos.
- Agrupación y refinación de los problemas enunciados.
- Jerarquización y selección.
- Descripción detallada de los problemas en el orden de prioridad elegido.

La solución de los problemas dependerá en buena medida de la forma en que se planteen originalmente. Por ello afirmamos que la selección de los problemas a resolver es un elemento esencial de la planeación.

ALGUNAS DECISIONES ESTRATEGICAS

Una vez definidos los problemas la planeación tecnológica busca soluciones pertinentes. Aunque hemos afirmado que algunas de las desarrolladas en otras partes puedan ser inadecuadas, afirmamos también que podrían ser adecuadas.

Por lo tanto, la búsqueda de soluciones no sólo se refiere a la elección de una entre varias alternativas técnicas sino, sobre todo, la opción entre varias fórmulas estratégicas.

El aspecto clave en la selección de la estrategia es el desarrollo de la capacidad. De nada sirve disponer de recetas que permitan resolver un número considerable de problemas a partir de información desarrollada en otras partes, si no se dispone de personal capaz de definir el problema que se trata de resolver y de juzgar sobre la pertinencia de aplicarle algunas de las soluciones conocidas o buscar una nueva. Esto significa ser capaz de entender las semejanzas y las diferencias entre nuestros problemas y los de otros países, la forma en que nuestras circunstancias modifican las soluciones o su aplicabilidad, las diferencias en los efectos secundarios, etc. Es importante, pues, optar entre varias posibles políticas:

- Desarrollar o adoptar tecnologías existentes.

- Usar tecnologías avanzadas o "apropiadas".
- Definir las escalas de producción.
- Orientarse a problemas o a mercados.

Cuando se hacen estudios de pronóstico y de evaluación tecnológicos, estas opciones pueden presentar, de un caso a otro, aspectos muy diferentes.

OPCIONES TECNOLÓGICAS ESPECÍFICAS

Como se dijo antes, en muchos casos las empresas que utilizan tecnología no se plantean el problema en términos de "qué conocimientos se necesitan para resolver los problemas de la gente" sino más bien "qué tamaño de mercado tendría el producto desarrollado con la tecnología conocida".

No es éste el lugar para discutir la validez de uno u otro planteamientos; nos conformamos con afirmar que las diferentes opciones tecnológicas específicas que se tomen en cuenta en este punto plantean un problema no trivial, ya que las tecnologías alternativas podrían tener consecuencias diferentes sobre la capacidad de competir en el mercado, sobre la utilización de insumos locales, sobre el costo, sobre el entorno físico, etc.

En presencia de libertad suficiente para escoger entre varias opciones tecnológicas, es posible compararlas en cuanto a ciertas características fundamentales: qué opciones diferentes hay, en qué estado se encuentra cada una, cuáles utilizan los competidores, qué posición relativa queremos guardar.

Más adelante comentamos también algunos aspectos relativos a la evaluación tecnológica.

PRONÓSTICO TECNOLÓGICO

La historia de los avances tecnológicos recientes presenta características muy significativas. Es notorio el acelerado desarrollo sobre todo en ciertos campos.

En presencia de información suficiente es posible establecer algunas relaciones entre desarrollos tecnológicos que permitan hablar de "historias tecnológicas" es decir, secuencias ordenadas de acontecimientos que se ligan unos con otros. Es posible admitir que los futuros acontecimientos dentro del mismo campo puedan ligarse con estas historias.

En otras palabras, no parece haber contradicción en admitir que los posibles cambios tecnológicos futuros puedan pronosticarse.

La clave del pronóstico tecnológico es sin duda la selección de los indicadores. Como observamos enseguida, la forma en que se relacionen las variables entre sí condiciona las interpretaciones que se hagan de la información disponible.

Por ejemplo, puede pensarse en la tecnología de iluminación a partir de un indicador compuesto como el consumo de energía eléctrica por cada unidad de iluminación; si puede demostrarse que esta relación ha venido descendiendo en el pasado de acuerdo con una cierta tendencia, es posible utilizar este indicador para proyectar las posibles aspiraciones de los futuros desarrollos.

En cambio, está demostrado que la velocidad de desplazamiento sería un indicador insuficiente para pronosticar los futuros desarrollos de la aviación. Parecerían más pertinentes otros indicadores más complicados, que relacionasen número de pasajeros, distancias recorridas y tiempos necesarios (por ejemplo, millas-pasajero por hora).

Las técnicas más comunes utilizadas en el pronóstico tecnológico no se detallan en este trabajo pues serán motivo de otras sesiones.

Baste mencionar que son de uso frecuente la extrapolación de tendencias (una variable en relación con el tiempo), ciertas correlaciones sencillas y las llamadas curvas logísticas y curvas envolventes. Estas últimas son particularmente efectivas en la evaluación de posibles discontinuidades en el desarrollo de la tecnología.

EVALUACION TECNOLÓGICA

Por definición, la evaluación tecnológica es una función multidisciplinaria, que considera a la tecnología como parte de un sistema social complejo dentro del cual se trata de determinar diversos tipos de consecuencias.

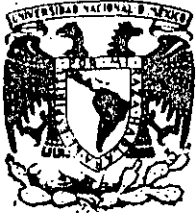
Como ya se ha enunciado en párrafos anteriores, la tecnología tiene impactos importantes sobre el ambiente físico y sobre la sociedad. Por lo tanto, la evaluación tecnológica es principalmente una apreciación comparativa, de ser posible en términos cuantitativos, de dichos impactos. Utiliza como recursos para el análisis técnicas algo más complejas que las empleadas en el pronóstico (aunque no le son exclusivas), entre las que destacan las técnicas delfos e impactos cruzados.

La técnica delfos representa una forma de estimar consecuencias futuras a partir de la consulta reiterada con especialistas, lo que permite crear un sustituto de la información "estadística acerca del futuro".

La técnica de impactos cruzados, en sus varias versiones, representa un esfuerzo para evaluar cuantitativamente los efectos de unas variables sobre otras cuando estos son difíciles de separarse del conjunto.

Ambas técnicas serán objeto de sesiones específicas durante este mismo curso.

Una última advertencia en el campo de la evaluación tecnológica se refiere a la legitimidad de los impactos que se consideren como base. Es posible que la tecnología y un cierto efecto que quiere atribuírsele se desarrollen paralelamente, guarden correlación matemática y sin embargo no mantengan relaciones causa-efecto. En el planteamiento de los cuestionarios para los especialistas, investigar esta cuestión será vital para la validez de los resultados.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

TRANSFORMADA GEOMETRICA
ORDINARIA (1)

Expositor:
Ing. Humberto Padilla Castañeda

NOVIEMBRE, 1984

1

Transformada Geométrica Ordinaria (I)

1.1. Introducción

El objetivo del presente capítulo es deducir las relaciones básicas entre las funciones de la variable natural y su correspondiente Transformada Geométrica Ordinaria. De hecho este se inicia con definiciones tales como la de variable natural y funciones de dicha variable a las que genéricamente se les denomina funciones discretas, ilustrando geoméricamente algunas de ellas. Posteriormente, se define la Transformada Geométrica Ordinaria, como una serie de potencias, posiblemente formal, y se aplica esta definición a diversas funciones, entre otras, pulsos, potencias, geométricas, factoriales, combinatorias, trigonométricas, de Stirling, etc.

A continuación, se presentan propiedades generales de la Transformada, mismas que complementan las vistas al iniciarse el tema. El capítulo termina presentando algunas técnicas usadas en la transformación inversa (antitransformación) y atacando el problema de la potencia de una matriz cuadrada.

1.2. Funciones de la Variable Natural

Sea el conjunto de los enteros no negativos, $0, 1, 2, \dots$ y para representar a cualquiera de ellos se emplea el símbolo n ; se define a n como la variable natural.

Por otra parte, al establecer la correspondencia biunívoca entre el conjunto de los enteros no negativos y el de los números reales se origina una función misma que se representa mediante $f(n)$. Esta función tiene como

2 Transformada Geométrica Ordinaria (T.G.O.) (I)

dominio el conjunto de los enteros no negativos y como contradominio el de los números reales y se dice que $f(n)$ es una función discreta.

La definición anterior, se complementa con $f(n) = 0$ si $n < 0$.
Algunos ejemplos de funciones discretas son:

$f(n) = n$ (rampa unitaria) fig. 1.1. a

$f(n) = n^2$ (rampa parabólica) fig. 1.1.b

$f(n) = a^n$ (sucesión geométrica) fig. 1.1.c

$f(n) = 1 = u(n)$ (escalón unitario) fig. 1.1.d

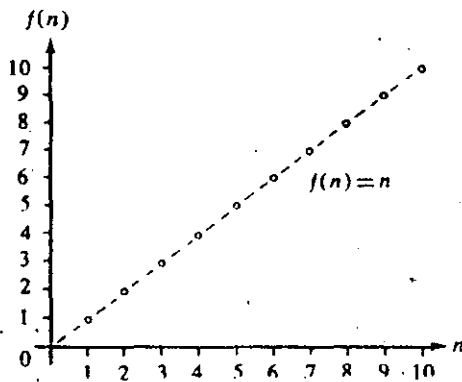


Figura 1.1.a.

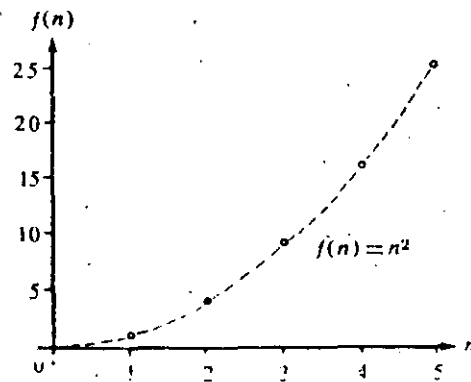


Figura 1.1.b.

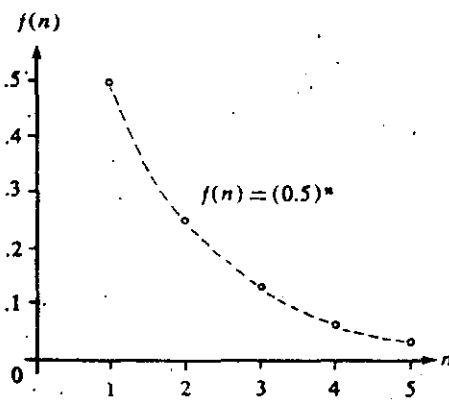


Figura 1.1.c.

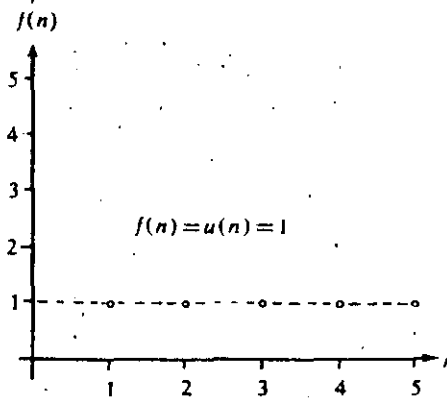


Figura 1.1.d.

1.3. Transformada Geométrica Ordinaria

Sea la función discreta $f(n)$ que adquiere los valores

$$f(0), f(1), f(2), \dots, f(n), \dots$$

Por otra parte, considérese la sucesión geométrica en la variable z (variable de transformación)

$$1, z, z^2, \dots, z^n, \dots$$

formando el producto interno de estas sucesiones, esto es, multiplicando término a término las sucesiones anteriores y sumando los productos obtenidos, resulta:

$$f(0) + f(1)z + f(2)z^2 + \dots + f(n)z^n + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} f(n)z^n$$

Si se representa con $f^o(z)$ a la suma obtenida

$$f^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f(n)z^n \quad (1.3.1)$$

Se dice que $f^o(z)$ es la Transformada Geométrica Ordinaria (T.G.O.) de la función discreta $f(n)$ y se establece la correspondencia

$$f(n) \leftrightarrow f^o(z) \quad (1.3.2)$$

Ahora bien, la notación $f^o(z)$ para representar a la T.G.O. de $f(n)$ es la empleada por R. Howard [12] y dado lo práctico de su empleo se utiliza en esta obra. Adicionalmente el símbolo \leftrightarrow es usado entre otros por Svenshnikov [21] y también por razones de comodidad se adopta para su manejo a lo largo del libro.

1.4. La Serie de Potencias

La expresión (1.3.1) establece que $f^o(z)$ se encuentra desarrollada en serie de potencias de z cuyos coeficientes son los valores que adquiere $f(n)$. Sin embargo, esta serie puede ser puramente formal, esto es tener un radio de convergencia nulo sin que esto afecte las relaciones entre $f(n)$ y $f^o(z)$. A este respecto E.B. McBride [18] señala:

"La relación entre $f^o(z)$ y $f(n)$ es una relación cualitativa, cuya validez

4 Transformada Geométrica Ordinaria (T.G.O.) (1)

no depende de la longitud del radio de convergencia". En 1923, Eric T. Bell [1] presentó un estudio en el que establece "la validez de los resultados obtenidos igualando coeficientes una vez que se han manipulado formalmente las series". De acuerdo con esto, no se considera necesario determinar el radio de convergencia.

Este criterio de McBride se adopta para el manejo de la T.G.O. a lo largo de la obra. Sobra decir que si en alguna ocasión hace falta establecer el intervalo de convergencia, esto se hará específicamente en dicho caso.

Por otra parte, el hecho de que $f'(z)$ sea la suma de una serie de potencias, permite aprovechar las propiedades de dichas series, tanto en la transformación directa como en la inversa (antitransformación). Tal es el caso del teorema de MacLaurin y por consiguiente la unicidad de la correspondencia entre $f(n)$ y $f'(z)$; la integración y la derivación término a término y en general todas aquellas propiedades consecuencia del Algebra de las Series de Potencias.

1.5. Transformada de diversas funciones discretas

1.5.1. Pulso unitario en el origen

La función $\delta(n)$ se define de la siguiente manera:

$$f(n) = \delta(n) = \begin{cases} 1 & \text{si } n = 0 \\ 0 & \text{si } n \neq 0 \end{cases}$$

De ahí que su representación gráfica sea la que aparece en la figura 1.2.

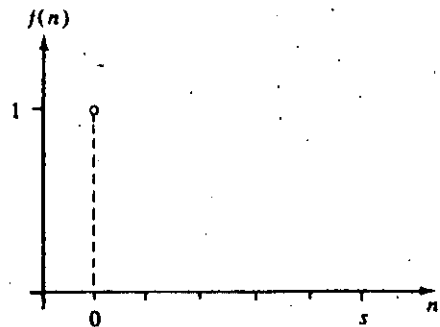


Figura 1.2.

Por la definición de T.G.O. (Transformada Geométrica Ordinaria) se tiene

$$f'(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \delta(n) z^n = 1 \cdot 1 + 0 \cdot z + 0 \cdot z^2 + \dots + 0 \cdot z^n + \dots = 1$$

De manera que se puede establecer la correspondencia

$$\delta(n) \leftrightarrow 1 \quad (1.5.1.)$$

1.5.2. Pulso unitario en el punto m

Esta función se define también mediante la delta de Kronecker

$$f(n) = \delta(n-m) = \begin{cases} 1 & \text{si } n = m \\ 0 & \text{si } n \neq m \end{cases}$$

Su gráfica aparece en la fig. 1.3.

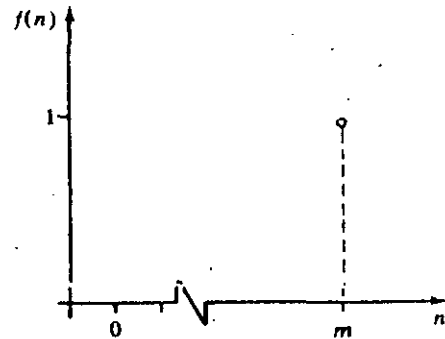


Figura 1.3.

Por la definición de T.G.O.

$$f'(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \delta(n-m) z^n = 0 \cdot 1 + 0 \cdot z + 0 \cdot z^2 + \dots + 1 \cdot z^m + \dots + 0 \cdot z^2 + \dots = z^m$$

de manera que,

$$\delta(n-m) \leftrightarrow z^m ; m > 0 \quad (1.5.2.)$$

1.5.3. Escalón unitario

La función escalón unitario $u(n)$ queda definida de la siguiente manera (fig. 1.4.)

$$f(n) = u(n) = \begin{cases} 1 & \text{si } n \geq 0 \\ 0 & \text{si } n < 0 \end{cases}$$

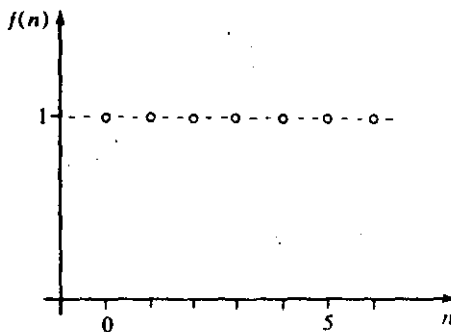


Figura 1.4.

En este caso

$$f^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} u(n)z^n = 1 \cdot 1 + 1 \cdot z + 1 \cdot z^2 + \dots + 1 \cdot z^n + \dots$$

$$f^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} z^n = \frac{1}{1-z}$$

por tanto,

$$u(n) \leftrightarrow \frac{1}{1-z} \quad (1.5.3.)$$

1.5.4. Combinación lineal de funciones discretas

Sean las funciones $f(n)$ y $g(n)$ y $F(n) = af(n) + bg(n)$; a y $b = \text{ctes.}$
Por la definición de T.G.O.

$$F^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} F(n)z^n = \sum_{n=0}^{\infty} [af(n) + bg(n)]z^n$$

empleando la propiedad distributiva de la suma

$$F^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} af(n)z^n + \sum_{n=0}^{\infty} bg(n)z^n$$

y al ser a y b constantes,

$$F^o(z) = a \sum_{n=0}^{\infty} f(n)z^n + b \sum_{n=0}^{\infty} g(n)z^n$$

por la definición de T.G.O.

$$F^g(z) = af^g(z) + bg^g(z)$$

esto es

$$af(n) + bg(n) \leftrightarrow af^g(z) + bg^g(z) \quad (1.5.4.)$$

1.5.5. Convolución entre dos funciones (Producto de Cauchy)

Dada la función $f(n)$ y la $g(n)$ se entiende por convolución entre ellas y se le representa mediante $f(n) * g(n)$ a la suma

$$f(n) * g(n) = \sum_{m=0}^n f(m) g(n-m)$$

Así por ejemplo sea

$$\begin{aligned} f(n) &= a^n \\ g(n) &= b^n \end{aligned}$$

entonces,

$$a^n * b^n = \sum_{m=0}^n a^m b^{n-m} = b^n \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{b}\right)^m$$

pero

$$\sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{b}\right)^m = \frac{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^{n+1}}{1 - \frac{a}{b}} = b \frac{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^{n+1}}{b-a}$$

De manera que:

$$a^n * b^n = b^{n+1} \frac{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^{n+1}}{b-a} = \frac{b^{n+1} - a^{n+1}}{b-a}$$

Una vez que se ha ilustrado el significado de la operación llamada convolución se aplicará la definición de T.G.O.

$$\sum_{n=0}^{\infty} f(n) * g(n) z^n = \sum_{n=0}^{\infty} z^n \sum_{m=0}^n f(m) g(n-m)$$

5.3.)

ctes.

pero

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} z^n \sum_{m=0}^n f(m) g(n-m) &= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n f(m) z^m g(n-m) z^{n-m} \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} f(m) z^m \sum_{n=m}^{\infty} g(n-m) z^{n-m} \end{aligned}$$

de donde si $n - m = r$

$$\sum_{n=0}^{\infty} f(n) * g(n) z^n = \sum_{m=0}^{\infty} f(m) z^m \sum_{r=0}^{\infty} g(r) z^r$$

y nuevamente por la definición de T.G.O.

$$\sum_{n=0}^{\infty} f(n) * g(n) z^n = f^g(z) \cdot g^g(z)$$

Se establece

$$f(n) * g(n) \leftrightarrow f^g(z) \cdot g^g(z) \quad (1.5.5.)$$

1.5.6. Función retrasada

Sea la función $f(n)$ referida a un origen 0 arbitrario y trasládese este origen m unidades en el sentido negativo del eje n , la función referida a este nuevo origen $0'$, es $f(n-m)$. (Fig. 1.5.). Pensando en términos de tiempo se puede suponer que la función tardó en presentarse m unidades, esto es, se retrasó m unidades, de ahí el nombre.

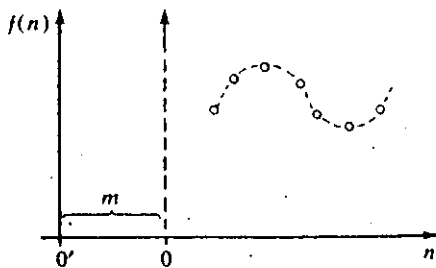


Figura 1.5.

Aplicando la definición de T.G.O. a $f(n-m)$

$$f^g(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f(n-m) z^n = z^m \sum_{n=m}^{\infty} f(n-m) z^{n-m}$$

si $n - m = r$

$$f^g(z) = z^m \sum_{r=0}^{\infty} f(r) z^r = z^m f^g(z)$$

y la correspondencia es

$$f(n - m) \leftrightarrow z^m f^o(z) \quad (1.5.6.)$$

1.5.7. Función adelantada

Sea la función $f(n)$ referida a un origen arbitrario 0, trasládese este origen m unidades en el sentido del eje n . La función referida al nuevo origen es $f(n + m)$ (Fig. 1.6.).

Nuevamente pensando en términos de tiempo puede suponerse que la función adelantó su presentación.

Sin embargo, el correr el origen en el sentido del eje, implica dejar una porción de la función en la región negativa del eje n , lo cual debe corregirse para no caer en contradicción con la definición complementaria $f(n) = 0$ si $n < 0$.

Aplicando la definición de T.G.O. a $f(n + m)$

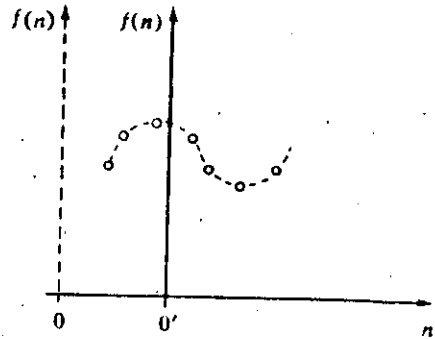


Figura 1.6.

$$f^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f(n + m) z^n ; \text{ si } n + m = r$$

$$f^o(z) = \sum_{r=m}^{\infty} f(r) z^{r-m} = z^{-m} \sum_{r=m}^{\infty} f(r) z^r$$

pero

$$\sum_{r=m}^{\infty} f(r) z^r = \sum_{r=0}^{\infty} f(r) z^r - f(0) - f(1)z - f(2)z^2 - \dots - f(m-1)z^{m-1}$$

luego,

$$f^o(z) = z^{-m} \left[f^o(z) - \sum_{r=0}^{m-1} f(r) z^r \right]$$

y se establece la correspondencia

$$f(n + m) \leftrightarrow z^m \left[f^o(z) - \sum_{r=0}^{m-1} f(r) z^r \right] \quad (1.5.7.)$$

10 Transformada Geométrica Ordinaria (T.G.O.) (1)

1.5.8. Sucesión geométrica

i) Sea $f(n) = a^n$, entonces aplicando la definición de T.G.O.

$$f^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a^n z^n = \sum_{n=0}^{\infty} (az)^n = \frac{1}{1-az}$$

por consiguiente,

$$a^n \leftrightarrow \frac{1}{1-az} \quad a = \text{cte.} \quad (1.5.8.)$$

ii) Por otra parte si

$$F(n) = a^n f(n)$$

Aplicando la definición de T.G.O.

$$F^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a^n f(n) z^n = \sum_{n=0}^{\infty} f(n) (az)^n$$

esto es,

$$F^o(z) = f^o(az)$$

y se establece la correspondencia

$$a^n f(n) \leftrightarrow f^o(az) \quad a = \text{cte.} \quad (1.5.9.)$$

1.5.9. Productos sucesivos de la variable por la función

i) Sea la función $f(n)$ con T.G.O. $f^o(z)$, entonces

$$f^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f(n) z^n$$

$$\frac{d}{dz} f^o(z) = \sum_{n=1}^{\infty} n f(n) z^{n-1}$$

$$z \frac{d}{dz} f^o(z) = \sum_{n=0}^{\infty} n f(n) z^n$$

y por tanto,

$$n f(n) \leftrightarrow z \frac{d}{dz} f^o(z) \quad (1.5.10.)$$

1.7. Potencia de una matriz cuadrada

Sea

$$F(n) = A^n$$

en donde A es una matriz cuadrada de constantes. La función matricial discreta A^n es análoga a la sucesión geométrica a^n de (1.5.8.).

Aplicando la definición de T.G.O. a $F(n)$ se tiene:

$$\sum_{n=0}^{\infty} F(n) z^n = \sum_{n=0}^{\infty} A^n z^n = I + A z + A^2 z^2 + \dots = [I - A z]^{-1}$$

esto es:

$$A^n \leftrightarrow [I - A z]^{-1} \quad (1.7.1.)$$

expresión análoga a (1.5.8.)
(I : matriz identidad).

Por otra parte, la serie representa a la matriz inversa si el valor absoluto de z es menor que el recíproco del valor característico de A de mayor valor absoluto.

En forma semejante a la tratada en el inciso (1.5.) se encuentran expresiones para transformadas de diversas funciones matriciales, lo anterior es consecuencia directa de la definición de T.G.O. (1.7.1.). A manera de ilustración considérese

$$F(n) = n A^n$$

Se parte de

$$[I - A z]^{-1} = \sum_{n=0}^{\infty} A^n z^n$$

derivando ambos miembros

$$\frac{d}{dz} [I - A z]^{-1} = \frac{d}{dz} \sum_{n=0}^{\infty} A^n z^n$$

$$\frac{d}{dz} [I - A z]^{-1} = \sum_{n=0}^{\infty} n A^n z^{n-1}$$

$$z \frac{d}{dz} [I - A z]^{-1} = \sum_{n=0}^{\infty} n A^n z^n$$

$$\frac{(c-b)a^{n+2} - (c-a)b^{n+2} + (b-a)c^{n+2}}{(b-a)(c-a)(c-b)} \leftrightarrow \frac{1}{(1-az)(1-bz)(1-cz)}$$

(1.6.8.)

$$a < b < c$$

1.6.3. Desarrollo de MacLaurin

Puesto que $f^{\nu}(z)$ es la suma de la serie de potencias cuyos coeficientes son $f(n)$, $n = 0, 1, 2, \dots$; por el teorema (1.4.v.) se tiene:

$$f(n) = \frac{1}{n!} \frac{d^n}{dz^n} f^{\nu}(z) \Big|_{z=0}$$

Este teorema suministra un método adicional para antitransformar. Así por ejemplo, sea

$$1) \quad f^{\nu}(z) = \frac{1}{1-az}$$

entonces

$$\frac{d^n}{dz^n} \frac{1}{1-az} = \frac{n! a^n}{(1-az)^{n+1}}$$

de manera que

$$f(n) = \frac{1}{n!} \frac{n! a^n}{(1-az)^{n+1}} \Big|_{z=0} = a^n$$

$$f(n) = a^n$$

$$2) \quad f^{\nu}(z) = e^{az}$$

entonces

$$\frac{d^n}{dz^n} e^{az} = a^n e^{az}$$

de manera que

$$f(n) = \frac{1}{n!} a^n e^{az} \Big|_{z=0} = \frac{a^n}{n!}$$

en donde

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{bmatrix}; \mathbf{y}(n) = \begin{bmatrix} y_1(n) \\ y_2(n) \\ \cdots \\ y_k(n) \end{bmatrix}; \mathbf{\Phi}(n) = \begin{bmatrix} \Phi_1(n) \\ \Phi_2(n) \\ \cdots \\ \Phi_k(n) \end{bmatrix}$$

Se tiene:

$$\mathbf{y}(n+1) = \mathbf{A} \mathbf{y}(n) + \mathbf{\Phi}(n)$$

transformando, mediante (1.5.7)

$$\begin{aligned} z^{-1} [\mathbf{y}^{\sigma}(z) - \mathbf{y}(0)] &= \mathbf{A} \mathbf{y}^{\sigma}(z) + \mathbf{\Phi}^{\sigma}(z) \\ \mathbf{y}^{\sigma}(z) - \mathbf{y}(0) &= \mathbf{A} z \mathbf{y}^{\sigma}(z) + z \mathbf{\Phi}^{\sigma}(z) \\ [\mathbf{I} - \mathbf{A} z] \mathbf{y}^{\sigma}(z) &= \mathbf{y}(0) + z \mathbf{\Phi}^{\sigma}(z) \end{aligned}$$

premultiplicando ambos miembros por $[\mathbf{I} - \mathbf{A} z]^{-1}$

$$\mathbf{y}^{\sigma}(z) = [\mathbf{I} - \mathbf{A} z]^{-1} \mathbf{y}(0) + [\mathbf{I} - \mathbf{A} z]^{-1} z \mathbf{\Phi}^{\sigma}(z)$$

por (1.7.2) y (1.5.5)

$$\mathbf{y}(n) = \mathbf{A}^n \mathbf{y}(0) + \sum_{m=1}^{n-1} \mathbf{A}^m \mathbf{\Phi}(n-m-1) \quad (3.6.4)$$

en donde $\mathbf{y}(0)$ es el vector de "condición inicial".

Aquí nuevamente (1.16.2.) permite obtener la potencia \mathbf{A}^n mediante el uso de la T.G.O.

Así por ejemplo, sea

$$\begin{cases} u(n+1) = 3u(n) + 2v(n) + n \\ v(n+1) = 2u(n) + 3v(n) + n^2 \end{cases}$$

y como condición inicial

$$u(0) = a, v(0) = b$$

Se tiene:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}; \mathbf{y}(n) = \begin{bmatrix} u(n) \\ v(n) \end{bmatrix}; \mathbf{\Phi}(n) = \begin{bmatrix} n \\ n^2 \end{bmatrix}$$

la ecuación auxiliar es

$$m^2 - 2mz + z^2 = 0$$

$$(m - z)^2 = 0$$

la solución general es

$$y^g(z, t) = (A + Bt) e^{zt}$$

luego

$$y^g(z, 0) = \frac{1}{1 - 2z} = A$$

$$y^{g(1)}(z, 0) = \frac{1}{1 - 2z} = Az + B$$

de donde

$$A = \frac{1}{1 - 2z}, \quad B = \frac{1 - z}{1 - 2z}$$

por consiguiente,

$$y^g(z, t) = \frac{e^{zt}}{1 - 2z} + \frac{t e^{zt}}{1 - 2z} - \frac{z t e^{zt}}{1 - 2z}$$

$$y(n, t) = \sum_{m=0}^n \frac{2^m t^{n-m}}{(n-m)!} + \sum_{m=0}^n \frac{2^m t^{n-m+1}}{(n-m)!} - \sum_{m=0}^n \frac{2^{m-1} t^{n-m+1}}{(n-m)!}$$

3.6.5. *Sistemas de ecuaciones lineales y de primer orden en diferencias.*

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1(n+1) = a_{11} y_1(n) + a_{12} y_2(n) + \dots + a_{1k} y_k(n) + \emptyset_1(n) \\ y_2(n+1) = a_{21} y_1(n) + a_{22} y_2(n) + \dots + a_{2k} y_k(n) + \emptyset_2(n) \\ \hline y_k(n+1) = a_{k1} y_1(n) + a_{k2} y_2(n) + \dots + a_{kk} y_k(n) + \emptyset_k(n) \end{array} \right.$$

que puede expresarse matricialmente en la forma

$$y(n+1) = A y(n) + \emptyset(n)$$

y por consiguiente,

$$y(n) \leftrightarrow \frac{z^k f^y(z) + \sum_{r=0}^{k-1} a_r \sum_{t=0}^{k-r-1} y(t) z^{t+r}}{\sum_{r=0}^{k-1} a_r z^r} \quad (3.6.1)$$

$k > 0$ entero

Obsérvese que para resolver la ecuación planteada, se requieren k valores $y(0), y(1), \dots, y(k-1)$ usualmente llamados valores iniciales.

Así por ejemplo, sea

$$y(n+2) - 4y(n+1) + 4y(n) = 5^n$$

$$y(0) = 0, \quad y(1) = 1,$$

se tiene

$$a_0 = 1, \quad a_1 = -4, \quad a_2 = 4; \quad 5^n \leftrightarrow \frac{1}{1-5z}$$

entonces

$$y^y(z) = \frac{\frac{z^2}{1-5z} + z}{1-4z+4z^2} = \frac{z-4z^2}{(1-2z)^2(1-5z)}$$

haciendo operaciones

$$y^y(z) = \frac{1}{(1-2z)^2} + \frac{-4}{1-2z} + \frac{1}{1-5z}$$

luego, por (1.5.20) y (1.5.8)

$$y(n) = \frac{1}{3} n 2^n - \frac{1}{9} 2^n + \frac{1}{9} 5^n$$

3.6. Ecuaciones en diferencias (Relaciones de recurrencia)

3.6.1. Ecuaciones lineales y de coeficientes constantes

Una ecuación de la forma

$$a_0 y(n+k) + a_1 y(n+k-1) + a_2 y(n+k-2) + \dots + a_k y(n) = f(n)$$

en donde $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ son constantes, recibe el nombre de ecuación en diferencias, lineal de coeficientes constantes y de orden k . Su solución consiste en encontrar la función $y(n)$ que satisface la ecuación.

De hecho la ecuación puede escribirse

$$\sum_{\ell=0}^k a_{\ell} y(n+k-\ell) = f(n)$$

de manera que transformando miembro a miembro, se tiene por (1.5.4) y (1.5.7)

$$\sum_{\ell=0}^k a_{\ell} z^{\ell-k} \left[y^{\theta}(z) - \sum_{r=0}^{k-\ell-1} y(r) z^r \right] = f^{\theta}(z)$$

multiplicando ambos miembros por z^k

$$\sum_{\ell=0}^k a_{\ell} z^{\ell} \left[y^{\theta}(z) - \sum_{r=0}^{k-\ell-1} y(r) z^r \right] = z^k f^{\theta}(z)$$

$$\sum_{\ell=0}^k a_{\ell} z^{\ell} y^{\theta}(z) = z^k f^{\theta}(z) + \sum_{\ell=0}^k a_{\ell} \sum_{r=0}^{k-\ell-1} y(r) z^{\ell+r}$$

luego

$$y^{\theta}(z) = \frac{z^k f^{\theta}(z) + \sum_{\ell=0}^k a_{\ell} \sum_{r=0}^{k-\ell-1} y(r) z^{\ell+r}}{\sum_{\ell=0}^k a_{\ell} z^{\ell}}$$

5

Uso de la Transformada Geométrica Ordinaria en el Análisis de Sistemas Dinámicos (I)

5.1. Introducción

En este capítulo se estudian sistemas dinámicos, lineales, estacionarios y escalares. A partir de representaciones (realizaciones) $\{A, b, c, d\}$ se obtienen el producto $y(n)$ consecuencia de la alimentación de un insumo $u(n)$; también dichas representaciones se analizan con objeto de determinar su controlabilidad, observabilidad y estabilidad, llegando en su caso a formas canónicas. Posteriormente se obtiene la Respuesta del Sistema al Pulso en el Origen y mediante la T.G.O., se llega a la Función de Transferencia del sistema. Además de analizar los sistemas aislados en la forma antes descrita, el teorema de S.J. Mason permite estudiar sistemas interconectados logrando, mediante la Función de Transferencia global, la obtención de algunas formas canónicas y de la ecuación gobernante de todo el sistema.

5.2. Sistemas Aislados

5.2.1. Un sistema es un operador que actúa sobre una función $u(n)$ para producir otra función $y(n)$.

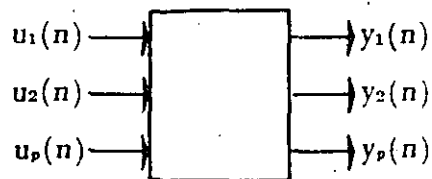


Figura 5.1

A la primera función $\mathbf{u}(n) = [u_1(n), u_2(n), \dots, u_p(n)]$ se le acostumbra llamar *insumo* al sistema y a la segunda $\mathbf{y}(n) = [y_1(n), y_2(n), \dots, y_q(n)]$ se le llama *producto* del sistema (fig. 4.1).

De existir un sólo insumo y un sólo producto, estas funciones son de carácter escalar: $u(n)$ y $y(n)$.

Ahora bien, al estudiar el *comportamiento dinámico interior* de los sistemas se hace necesario introducir una nueva función

$\mathbf{x}(n) = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_j(n)]$, llamada *función estado del sistema*.

Si se considera el estado en que se encuentra el sistema en la época (tiempo) $n + 1$, es factible pensar que depende del estado en que se encontraba en la época n , la inmediatamente anterior, depende también de los insumos que recibió en dicha época n , y de cual haya sido la época misma en que se realiza el análisis del sistema. Esto es:

$$\mathbf{x}(n + 1) = \mathbf{f}[\mathbf{x}(n), \mathbf{u}(n), n]$$

Por su parte, el producto del sistema en la época n , también es función del estado del sistema, del insumo alimentado y de la época misma de análisis

$$\mathbf{y}(n) = \mathbf{g}[\mathbf{x}(n), \mathbf{u}(n), n]$$

Estas dos ecuaciones vectoriales

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(n + 1) &= \mathbf{f}[\mathbf{x}(n), \mathbf{u}(n), n] \\ \mathbf{y}(n) &= \mathbf{g}[\mathbf{x}(n), \mathbf{u}(n), n] \end{aligned} \right\} \quad 5.2.1$$

describen el comportamiento dinámico del sistema.

Sin embargo, se presentan casos particulares que son de interés.

- a) El sistema *libre* (no forzado) es aquel que no se somete a ningún insumo (4.2.1) resulta

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(n + 1) &= \mathbf{f}[\mathbf{x}(n), n] \\ \mathbf{y}(n) &= \mathbf{g}[\mathbf{x}(n), n] \end{aligned} \right\} \quad (5.2.2)$$

- b) El sistema *estacionario* o *invariante respecto al tiempo*

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(n + 1) &= \mathbf{f}[\mathbf{x}(n), \mathbf{u}(n)] \\ \mathbf{y}(n) &= \mathbf{g}[\mathbf{x}(n), \mathbf{u}(n)] \end{aligned} \right\} \quad (5.2.3)$$

en estos sistemas, si el insumo se retrasa m unidades, $\mathbf{u}(n - m)$, el producto también se retrasa precisamente m unidades, $\mathbf{y}(n - m)$.

c) El sistema autónomo es un sistema libre y estacionario

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(n+1) &= \mathbf{f}[\mathbf{x}(n)] \\ \mathbf{y}(n) &= \mathbf{g}[\mathbf{x}(n)] \end{aligned} \right\} \quad (5.2.4)$$

Ahora bien, se dice que se especifica el sistema cuando se definen las características funcionales \mathbf{f} y \mathbf{g} . Una de las especificaciones más frecuentes es que \mathbf{f} y \mathbf{g} sean funciones lineales, entonces se dice que el sistema bajo análisis es lineal.

En este caso (5.2.1) resulta

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(n+1) &= \mathbf{A}(n) \mathbf{x}(n) + \mathbf{B}(n) \mathbf{u}(n) \\ \mathbf{y}(n) &= \mathbf{C}(n) \mathbf{x}(n) + \mathbf{D}(n) \mathbf{u}(n) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.5)$$

que es el caso más general de sistema lineal.

En (5.2.5) $\mathbf{A}(n)$ es una matriz cuadrada $j \times j$, llamada matriz de transición entre estado; $\mathbf{B}(n)$ es una matriz rectangular $j \times p$, llamada matriz de insumos; $\mathbf{C}(n)$ es una matriz rectangular $q \times j$, llamada matriz de productos y $\mathbf{D}(n)$ es una matriz rectangular $q \times p$, llamada matriz de las transmisiones directas.

Es importante señalar que la propiedad de la linealidad implica que si al sistema se le alimenta un insumo $\mathbf{u}_1(n)$ el producto es $\mathbf{y}_1(n)$, si se le alimenta el insumo $\mathbf{u}_2(n)$ el producto es $\mathbf{y}_2(n)$ y si se le alimenta el insumo $[\mathbf{u}_1(n) + k\mathbf{u}_2(n)]$ el producto es $[\mathbf{y}_1(n) + k\mathbf{y}_2(n)]$ (en donde k es una constante).

Para los sistemas especificados como lineales también es posible distinguir los casos particulares mencionados para los sistemas generales.

a) Sistema lineal libre

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(n+1) &= \mathbf{A}(n) \mathbf{x}(n) \\ \mathbf{y}(n) &= \mathbf{C}(n) \mathbf{x}(n) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.6)$$

b) Sistema lineal estacionario (invariante respecto al tiempo)

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(n+1) &= \mathbf{A} \mathbf{x}(n) + \mathbf{B} \mathbf{u}(n) \\ \mathbf{y}(n) &= \mathbf{C} \mathbf{x}(n) + \mathbf{D} \mathbf{u}(n) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.7)$$

Obsérvese que en este caso, las matrices \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D} son constantes.

c) Sistema lineal autónomo

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(n+1) &= \mathbf{A} \mathbf{x}(n) \\ \mathbf{y}(n) &= \mathbf{C} \mathbf{x}(n) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.8)$$

nuevamente \mathbf{A} y \mathbf{C} son constantes.

5.2.2. Sistema lineal estacionario cuyo insumo y producto son ambos escalares.

i) El sistema que a continuación va a ser examinado es el lineal, estacionario y con un sólo insumo y un sólo producto; su comportamiento dinámico queda definido como un caso particular de (5.2.7).

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(n+1) &= \mathbf{A} \mathbf{x}(n) + \mathbf{b} u(n) \\ y(n) &= \mathbf{c} \mathbf{x}(n) + d u(n) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.9)$$

en donde

\mathbf{A} = matriz cuadrada $j \times j$
 \mathbf{b} = vector columna $j \times 1$
 \mathbf{c} = vector renglón $1 \times j$
 d = escalar

Escribiendo (5.2.9) en términos de sus elementos

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x_1(n+1) \\ x_2(n+1) \\ \vdots \\ x_j(n+1) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{j1} & a_{j2} & \dots & a_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ \vdots \\ x_j(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_j \end{bmatrix} u(n) \\ y(n) &= [c_1, c_2, \dots, c_j] \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ \vdots \\ x_j(n) \end{bmatrix} + d u(n) \end{aligned} \quad (5.2.10)$$

que es una realización o representación por estados de orden j del sistema, para lo cual se usó la notación $\{\bar{\mathbf{A}}, \bar{\mathbf{b}}, \bar{\mathbf{c}}, d\}$. Obsérvese que mediante transformaciones de similitud, pueden obtenerse otros sistemas de ecuaciones equivalentes. De ahí que un mismo sistema tiene múltiples representaciones por estados.

Ahora bien, es inmediato reconocer en la primera de las ecuaciones (5.2.9).

$$\mathbf{x}(n+1) = \mathbf{A} \mathbf{x}(n) + \mathbf{b} u(n)$$

un sistema de ecuaciones en diferencias, lineal de primer orden, con coeficientes constantes y no homogéneo, cuya solución, de conformidad con (3.6.4) es

$$\mathbf{x}(n) = \mathbf{A}^n \mathbf{x}(0) + \sum_{m=0}^{n-1} \mathbf{A}^m \mathbf{b} u(n-m-1)$$

si este resultado se lleva a la segunda de las ecuaciones (5.2.9) se obtiene:

$$y(n) = \mathbf{c} \mathbf{A}^n \mathbf{x}(0) + \sum_{m=0}^{n-1} \mathbf{c} \mathbf{A}^m \mathbf{b} u(n-m-1) + d u(n)$$

en resumen

$$\mathbf{x}(n) = \mathbf{A}^n \mathbf{x}(0) + \sum_{m=0}^{n-1} \mathbf{A}^m \mathbf{b} u(n-m-1) \quad (5.2.11)$$

$$y(n) = \mathbf{c} \mathbf{A}^n \mathbf{x}(0) + \sum_{m=0}^{n-1} \mathbf{c} \mathbf{A}^m \mathbf{b} u(n-m-1) + d u(n)$$

A manera de ejemplo considérese la representación $\{\mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, d\}$

$$\begin{bmatrix} x_1(n+1) \\ x_2(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 3 \\ 2 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} u(n)$$

$$y(n) = [-2, 1] \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \end{bmatrix} + 3 u(n)$$

Se tiene por el primer ejemplo del inciso (1.7.3.)

$$\mathbf{A}^n = 2^n \begin{bmatrix} \frac{2}{5} & -\frac{3}{5} \\ \frac{2}{5} & \frac{3}{5} \end{bmatrix} + 7^n \begin{bmatrix} \frac{3}{5} & \frac{3}{5} \\ \frac{2}{5} & \frac{2}{5} \end{bmatrix}$$

$\bar{F}(z) = \frac{1}{z}$
 Δ (b.c.a.a. l.)
 del ac. T.C.C.
 $\sum_{n=0}^{\infty} F(n) z^n = \sum_{n=0}^{\infty} A^n z^n =$
 $\mathbf{I} + \mathbf{A}z + \mathbf{A}^2 z^2 + \dots = \mathbf{I} + \mathbf{A}z$
 $\mathbf{A}^n = [\mathbf{I} + \mathbf{A}z]$

Luego (5.2.11) resulta:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \end{bmatrix} &= \left\{ 2^n \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} + 7^n \begin{bmatrix} 3 & 3 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \end{bmatrix} + \\ &+ \sum_{m=0}^{n-1} \left\{ 2^m \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} + 7^m \begin{bmatrix} 3 & 3 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} u(n-m-1) \\ y(n) &= [-2, 1] \left\{ 2^n \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} + 7^n \begin{bmatrix} 3 & 3 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \end{bmatrix} + \\ &+ \sum_{m=0}^{n-1} [-2, 1] \left\{ 2^m \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} + 7^m \begin{bmatrix} 3 & 3 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} u(n-m-1) + 3u(n) \end{aligned}$$

haciendo operaciones resulta:

$$\begin{aligned} x_1(n) &= \left[\frac{2}{5} (2^n) + \frac{3}{5} (7^n) \right] x_1(0) + \left[-\frac{3}{5} (2^n) + \frac{3}{5} (7^n) \right] x_2(0) + \\ &+ \sum_{m=0}^{n-1} 2^m u(n-m-1) \\ x_2(n) &= \left[-\frac{2}{5} (2^n) + \frac{2}{5} (7^n) \right] x_1(0) + \left[\frac{3}{5} (2^n) + \frac{2}{5} (7^n) \right] x_2(0) + \\ &+ \sum_{m=0}^{n-1} (-1) 2^m u(n-m-1) \\ y(n) &= \left[-\frac{6}{5} (2^n) - \frac{4}{5} (7^n) \right] x_1(0) + \left[\frac{9}{5} (2^n) - \frac{4}{5} (7^n) \right] x_2(0) + \\ &+ \sum_{m=0}^{n-1} (-3) (2^m) u(n-m-1) + 3u(n) \end{aligned}$$

2) También es controlable y observable, la representación.

$$\begin{bmatrix} x_1(n+1) \\ x_2(n+1) \\ x_3(n+1) \\ x_4(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 3 & 2 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \\ -1 & -2 & 3 & 1 \\ 1 & 4 & -3 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ x_3(n) \\ x_4(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(n)$$

$$y(n) = [1, 3, 1, 2] \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ x_3(n) \\ x_4(n) \end{bmatrix}$$

analizar su estabilidad.

Se tiene:

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 3 & 2 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \\ -1 & -2 & 3 & 1 \\ 1 & 4 & -3 & 2 \end{bmatrix}$$

la ecuación característica de A es:

$$\lambda^4 - 8\lambda^3 + 25\lambda^2 - 28\lambda - 16 = 0$$

de donde los valores característicos son:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 4.411,447; & |\lambda_1| &= 4.411,447 \\ \lambda_2 &= -0.411,446; & |\lambda_2| &= 0.411,446 \\ \lambda_3 &= 2 + i 2.194,327; & |\lambda_3| &= 2.969,019 \\ \lambda_4 &= 2 - i 2.194,327; & |\lambda_4| &= 2.969,019 \\ & & |\lambda|_{\max} &= 4.411,447 \dots \end{aligned}$$

{A, b, c} no es estable.

5.2.4. Caracterización de un sistema

i) Al describir interiormente el comportamiento del sistema mediante sus ecuaciones de estado, fue necesario utilizar tres tipos de funciones, $u(n)$, $y(n)$ y $x(n)$. Si ahora se desea describir exteriormente al sistema, caracterizarlo, basta usar dos funciones, el insumo $u(n)$ y el producto $y(n)$.

De hecho se entiende por caracterizar un sistema escalar, establecer ex-

plícitamente y en forma única la manera en que transforma la función $u(n)$ en la función $y(n)$. Para ello se somete al sistema en reposo a una excitación unitaria $\delta(n)$ (pulso en el origen) y su respuesta $h(n)$ lo caracteriza de manera única. La función $h(n)$ recibe el nombre de *respuesta al pulso en el origen*.

Ahora bien, para obtener la manera en que el sistema transforma $u(n)$ en $y(n)$ se razona en la forma siguiente.

Si al aplicar un pulso $\delta(n)$ en el origen se obtiene como respuesta $h(n)$

$$\delta(n) \rightarrow h(n)$$

entonces, si se aplica el mismo pulso pero retrasado una unidad, al ser estacionario el sistema, se obtiene la misma respuesta, pero retrasada una unidad

$$\delta(n-1) \rightarrow h(n-1)$$

y si se retrasa m unidades el pulso, la respuesta se presentará retrasada también m unidades

$$\delta(n-m) \rightarrow h(n-m)$$

Ahora bien, la función insumo $u(n)$ puede representarse mediante pulsos:

$$u(n) = u(0) \delta(n) + u(1) \delta(n-1) + \dots + u(m) \delta(n-m) + \dots$$

$$u(n) = \sum_{m=0}^{\infty} u(m) \delta(n-m)$$

Aplicando ahora el pulso en el origen de tamaño $u(0)$ se obtendrá la respuesta amplificada $u(0)$ veces (por la propiedad de linealidad) esto es:

$$u(0) \delta(n) \rightarrow u(0) h(n)$$

y si se retrasa una unidad el pulso y su tamaño es $u(1)$ la respuesta se retrasa una unidad y se amplifica $u(1)$ veces:

$$u(1) \delta(n-1) \rightarrow u(1) h(n-1)$$

y en general

$$u(m) \delta(n-m) \rightarrow u(m) h(n-m)$$

y nuevamente por la propiedad de la linealidad

$$\sum_{m=0}^{\infty} u(m) \delta(m - m) \rightarrow \sum_{m=0}^{\infty} u(m) h(n - m)$$

esto es

$$u(n) \rightarrow \sum_{m=0}^{\infty} u(m) h(n - m)$$

pero $u(n)$ como insumo produce $y(n)$, luego

$$y(n) = \sum_{m=0}^{\infty} u(m) h(n - m) \quad (5.2.16)$$

pero en el segundo miembro se tiene la convolución de las funciones $h(n)$ con $u(n)$, luego en los sistemas lineales estacionarios

$$y(n) = h(n) * u(n) \quad (5.2.17)$$

queda explícitamente establecida la manera de operar del sistema sobre el insumo para suministrar el producto. En la figura 4.2 se describe esquemáticamente esta operación.

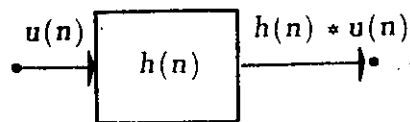


Figura 5.2

ii) Por otra parte, mediante las ecuaciones (5.2.11) puede obtenerse, para $\{A, b, c, d\}$ la respuesta del sistema; $h(n)$, al pulso en el origen $\delta(n)$. En efecto, de la segunda ecuación en (5.2.11)

$$y(n) = c A^n x(0) + \sum_{m=0}^{n-1} c A^m b u(n - m - 1) + d u(n)$$

puesto que el sistema se encuentra inicialmente en reposo, $x(0) = 0$, luego

$$y(n) = \sum_{m=0}^{n-1} c A^m b u(n - m - 1) + d u(n)$$

al aplicar el pulso en el origen

$$u(n) = \delta(n)$$

$$y(n) = h(n)$$

entonces

$$h(n) = \sum_{m=1}^{n-1} \mathbf{c} \mathbf{A}^m \mathbf{b} \delta(n-m-1) + d \delta(n)$$

$$\delta(n-m-1) = \begin{cases} 1 & \text{si } m = n-1 \\ 0 & \text{si } m \neq n-1 \end{cases}$$

por tanto

$$h(n) = \mathbf{c} \mathbf{A}^{n-1} \mathbf{b} + d \delta(n) \quad (5.2.18)$$

5.2.6. Función de Transferencia

i) En (5.2.17) se obtuvo

$$y(n) = h(n) * u(n)$$

Ahora bien, transformando mediante (1.5.5)

$$y^o(z) = h^o(z) u^o(z)$$

despejando $h^o(z)$

$$h^o(z) = \frac{y^o(z)}{u^o(z)} \quad (5.2.19)$$

Al cociente de la transformada del producto del sistema $y(n)$ entre la transformada del insumo al mismo $u(n)$ se le llama *función de transferencia del sistema*.

ii) Por otra parte (5.2.17) especifica

$$h(n) = \mathbf{c} \mathbf{A}^{n-1} \mathbf{b} + d \delta(n)$$

transformando miembro a miembro mediante (1.7.2), (1.5.6) y (1.5.1)

$$h^o(z) = \mathbf{c} z [\mathbf{I} - \mathbf{A}z]^{-1} \mathbf{b} + d$$

pero

$$[\mathbf{I} - \mathbf{A}z]^{-1} = \frac{\text{Adj} [\mathbf{I} - \mathbf{A}z]}{\det [\mathbf{I} - \mathbf{A}z]}$$

en donde

$\text{Adj} [\mathbf{I} - \mathbf{A}z]$ = matriz adjunta de $[\mathbf{I} - \mathbf{A}z]$, esto es la transpuesta de la matriz de cofactores.

$\det [\mathbf{I} - \mathbf{A}z]$ = determinante de la matriz $[\mathbf{I} - \mathbf{A}z]$

Luego $h^o(z)$ resulta

$$h^o(z) = \frac{\mathbf{c} z \text{Adj} [\mathbf{I} - \mathbf{A}z] \mathbf{b}}{\det [\mathbf{I} - \mathbf{A}z]} + d \quad (5.2.20)$$

El segundo miembro es un cociente de dos polinómios en z , se trata por tanto de una función racional. En el caso en que la representación por estados $\{\mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, d\}$ produzca, mediante (5.2.20), una *función racional irreducible*, entonces en el segundo miembro de (5.2.20) se tiene la función de transferencia del sistema. Por supuesto, la función racional es irreducible cuando los polinómios son coprimos.

Además, la función racional obtenida mediante (5.2.20) presenta, en su forma irreducible, la característica de que el numerador no es de grado mayor que el denominador, se trata por tanto de una función racional *propia* cuando coincide el grado del numerador con el del denominador o, *estrictamente propia* cuando el grado del denominador es mayor que el del numerador.

Obsérvese adicionalmente que si $d = 0$, el numerador del segundo miembro carece de término independiente.

Se produce una función racional irreducible en el segundo miembro de (5.2.20), si y sólo si, cuando el grado del polinomio denominador es j , todas las representaciones $\{\mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, d\}$ de orden j son controlables y observables.

Se dice que una representación $\{\mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, d\}$ es la *mínima* de entre todas las representaciones con misma función de transferencia, si es la de menor orden de todas ellas (menor número de elementos en el vector estado).

Una condición necesaria y suficiente para que una representación $\{\mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, d\}$ sea mínima es que mediante (5.2.20) produzca una función racional irreducible.

iii) En la discusión del inciso (ii) inmediatamente anterior, se parte de representaciones de la forma $\{\mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, d\}$ y se llega al cociente de dos polinomios en z que en su caso es la función de transferencia. En este inciso se procede a la inversa, se parte del cociente de los polinomios para obtener representaciones del tipo $\{\mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, d\}$.

En efecto, considérese los siguientes dos polinomios en z , de mismo grado j

$$b(z) = b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + \dots + b_j z^j$$

$$a(z) = 1 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots + a_j z^j$$

y fórmese el cociente

$$\frac{b(z)}{a(z)} = \frac{b_0 + b_1 z + \dots + b_j z^j}{1 + a_1 z + \dots + a_j z^j}$$

Si los polinomios son coprimos, y puesto que son del mismo grado, su cociente es la función de transferencia de un sistema. Una representación de la forma $\{\mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, d\}$, misma que mediante (5.2.20) produzca el cociente de partida.

La solución de este problema conduce a las formas canónicas de la representación $\{\mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, d\}$.

a) Forma del Controlador

Sea en primer lugar un polinomio $b(z)$ sin término independiente, esto es

$$h^o(z) = \frac{b_1 z + b_2 z^2 + \dots + b_j z^j}{1 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots + a_j z^j}$$

por otra parte, por (5.2.19)

$$h^o(z) = \frac{y^o(z)}{u^o(z)}$$

luego

$$\frac{b_1 z + b_2 z^2 + \dots + b_j z^j}{1 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots + a_j z^j} = \frac{y^o(z)}{u^o(z)}$$

No es posible hacer uso de (5.2.26); se acude al análisis por estabilidad interna.

Se tiene por (1.5.8)

$$h^*(z) = \frac{2}{1-3z} + \frac{4}{1+5z} = \frac{6-2z}{1+2z-15z^2}$$

pero

$$1 + 2z - 15z^2 = \det [\mathbf{I} - \mathbf{A}z]$$

entonces la ecuación característica de \mathbf{A} se obtiene haciendo la sustitución

$$z = \frac{1}{\lambda}$$

e igualando a cero

$$1 + \frac{2}{\lambda} - \frac{15}{\lambda^2} = 0$$

$$\lambda^2 + 2\lambda - 15 = 0$$

$$\lambda_1 = 3 \quad |\lambda_1| = 3$$

$$\lambda_2 = -5 \quad |\lambda_2| = 5$$

$$|\lambda|_{\max} = 5 > 1$$

el sistema es inestable.

4) El mismo problema para

$$h(n) = 4\left(-\frac{1}{3}\right)^n - 5\left(-\frac{1}{4}\right)^n$$

Se tiene por (1.5.8)

$$h^*(z) = \frac{4}{1 + \frac{1}{3}z} - \frac{5}{1 + \frac{1}{4}z} = \frac{-1 - \frac{2}{3}z}{1 + \frac{7}{12}z + \frac{1}{12}z^2}$$

La ecuación característica es:

$$\lambda^2 + \frac{7}{12}\lambda + \frac{1}{12} = 0$$

$$\lambda_1 = -\frac{1}{3}; \quad |\lambda_1| = \frac{1}{3}$$

$$\lambda_2 = -\frac{1}{4}; \quad |\lambda_2| = \frac{1}{4}$$

$$|\lambda|_{\max} = \frac{1}{3} < 1$$

el sistema es estable.

5) El mismo problema para

$$h(n) = S(n, 3)$$

en este caso

$$|h(n)| = h(n)$$

es aplicable (5.2.26)

Por (1.5.40)

$$\begin{aligned} h^p(z) &= \frac{z^3}{(1-z)(1-2z)(1-3z)} \\ &= \frac{z^3}{1-6z+11z^2-6z^3} \\ \sum_{l=0}^3 a_l &= 1-6+11-6=0 \end{aligned}$$

el sistema es inestable.

5.3. Sistemas interconectados, lineales estacionarios y escalares

5.3.1. Respuesta al pulso en el origen

En (5.2.12) se encontró

$$y(n) = h(n) * u(n)$$

y se esquematizó como aparece en la figura 5.3.

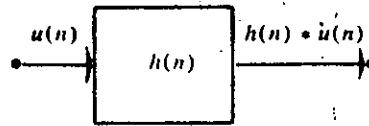


Figura 5.3.

Una vez establecida la manera de operar del sistema sobre el insumo es factible aspirar a analizar sistemas más complejos, los básicos que son en paralelo, en serie (cascada) y con retroalimentación.

a) En paralelo (fig. 5.4)

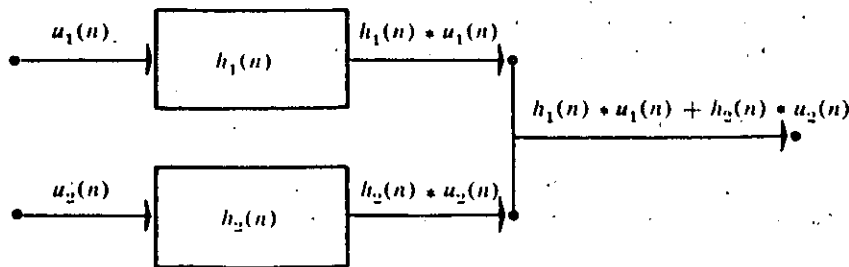


Figura 5.4.

Como puede observarse de la figura 5.4, para cada uno de los sistemas se hace uso de (5.2.12) y los productos aislados se suman para obtener el producto final. Es importante destacar esto último: *productos concurrentes a un mismo punto son aditivos*.

Una variación al sistema en paralelo aparece en la figura 5.5, en donde ambos sistemas tienen idéntica alimentación $u(n)$.

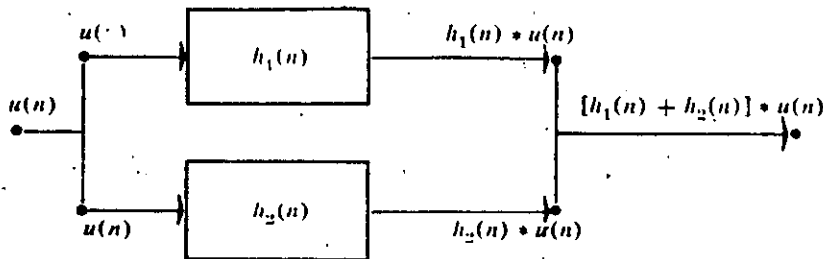


Figura 5.5.

Puede observarse que si la alimentación a los sistemas es idéntica, la

respuesta al pulso en el origen del sistema interconectado en paralelo es la suma de las respuestas al pulso en el origen de los sistemas aislados.

b) En serie (fig. 5.6)

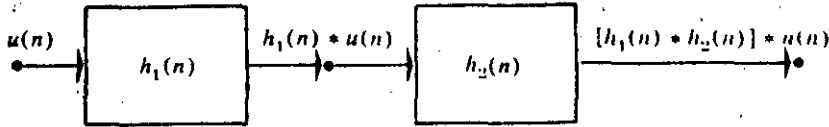


Figura 5.6.

Como puede apreciarse de la figura 5.6, la respuesta al pulso en el origen del sistema interconectado en serie es la convolución de las respectivas respuestas al pulso en el origen de los sistemas aislados.

c) Con retroalimentación (fig. 5.7).

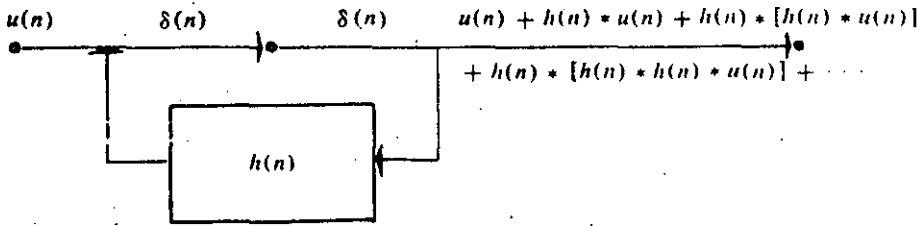


Figura 5.7.

Como puede apreciarse de la figura 5.7, la respuesta al pulso en el origen del sistema retroalimentado es una serie "geométrica" de autoconvoluciones

$$y(n) = u(n) + \left\{ h(n) + [h(n)]^2 + [h(n)]^3 + \dots \right\} * u(n)$$

5.3.2. Función de transferencia

El análisis llevado a cabo empleando la respuesta al pulso en el origen, $h(n)$, puede hacerse también y con ventaja usando la función de transferencia. La ventaja mencionada radica en que cuando las respuestas se suman, por (1.5.4), las funciones de transferencia también se suman:

$$h_1(n) + h_2(n) \leftrightarrow h_1^o(z) + h_2^o(z)$$

pero cuando las respuestas del sistema se convolucionan, las funciones de transferencia se multiplican por (1.5.5)

$$h_1(n) * h_2(n) \leftrightarrow h_1^g(z) h_2^g(z)$$

$$[h(n)]^r \leftrightarrow [h^g(z)]^r$$

Esto último sobre todo facilita el análisis mediante funciones de transferencia.

Por otra parte, los diagramas de interconexión de sistemas pasan ahora a ser grafos de flujo (dirigido) ponderados; en donde los factores de ponderación son precisamente las funciones de transferencia, los vértices son los puntos en que se alimenta el insumo o se genera el producto y los arcos siempre estarán dirigidos de un vértice de insumo a uno de producto.

A continuación se procede al análisis de los sistemas fundamentales del inciso (5.3.1) pero mediante sus equivalentes, grafos de flujo con funciones de transferencia.

a) En paralelo (fig. 5.8)

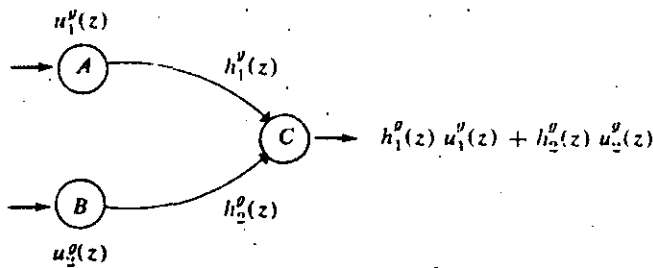


Figura 5.8.

Por otra parte, para alimentación idéntica (fig. 5.9)

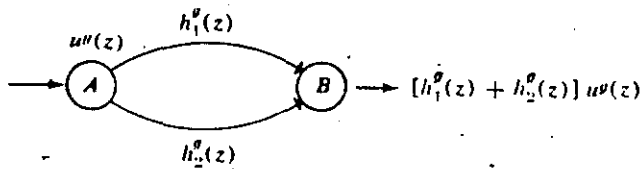


Figura 5.9.

Como puede observarse de la figura 5.9, la función de transferencia de sistemas en paralelo es la suma de las funciones de los sistemas aislados.

b) En serie (fig. 5.10)

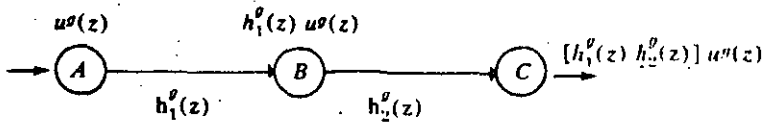


Figura 5.10.

Como puede verse de la figura 5.10, la función de transferencia de los sistemas aislados.

c) Con retroalimentación (fig. 5.11)

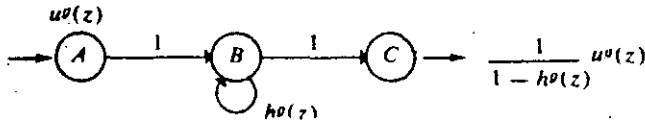


Figura 5.11.

Con relación a este sistema, al trabajar con respuesta a pulso en el origen se había obtenido

$$y(n) = u(n) + \left\{ h(n) + [h(n)]^2 + [h(n)]^3 + \dots \right\} * u(n)$$

transformando

$$y^o(z) = u^o(z) + \left\{ h^o(z) + [h^o(z)]^2 + [h^o(z)]^3 + \dots \right\} u^o(z)$$

esto es:

$$y^o(z) = [1 + h^o(z) + h^{o2}(z) + h^{o3}(z) + \dots] u^o(z)$$

pero dentro de las llaves se tiene una serie geométrica en $h^o(z)$ cuya, suma por (1.5.3) es:

$$\sum_{n=0}^{\infty} [h^o(z)]^n = \frac{1}{1 - h^o(z)}$$

luego

$$y^o(z) = \frac{1}{1 - h^o(z)} u^o(z)$$

que es lo que aparece en la figura 5.11.

De hecho el grafo de flujo ponderado por la función de transferencia permite reducir sistemas interconectados a sistemas aislados como los tratados en el inciso 5.2, tal como puede apreciarse en la figura 5.12.

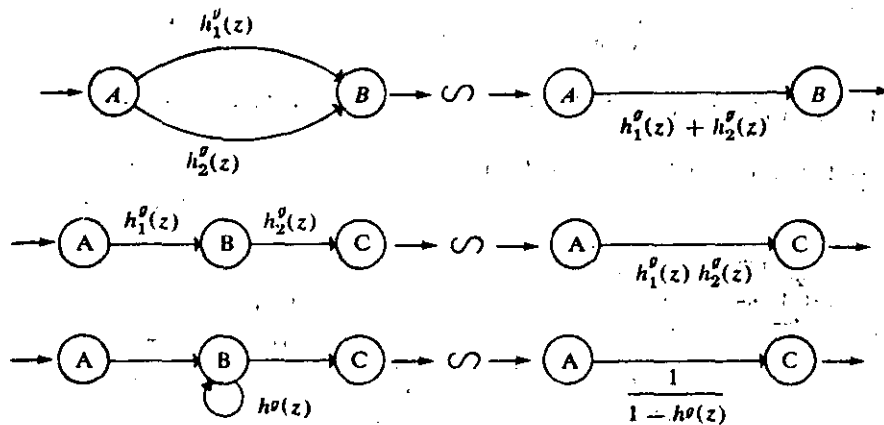


Figura 5.12.

Por supuesto que este método de reducción puede emplearse para sistemas más complejos como se muestra en la figura 5.13.

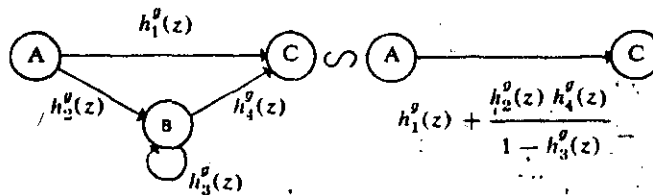


Figura 5.13.

A manera de ejemplo considérese el sistema interconectado que se muestra en la figura 5.14

276. Uso de la T.G.O. en el Análisis de Sistemas Dinámicos (I)

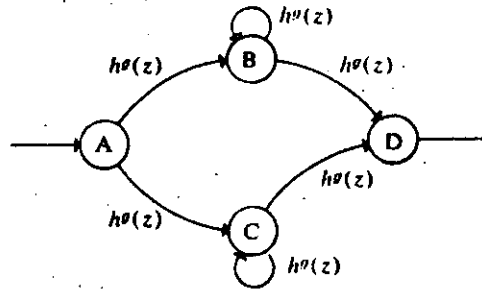


Figura 5.14.

en donde

$$h(n) = n$$

Determinar la forma del controlador y la ecuación gobernante.

Reduciendo el sistema (fig. 5.15) se tiene:

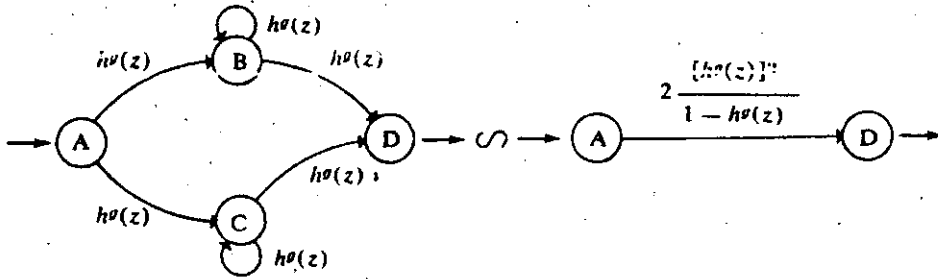


Figura 5.15.

Luego para el sistema interconectado su función de transferencia $H^sigma(z)$ resulta:

$$H^sigma(z) = \frac{2 \left[\frac{z}{(1-z^2)} \right]^2}{1 - \frac{z}{(1-z)^2}} = \frac{2z^2}{1 - 5z + 8z^2 - 5z^3 + z^4}$$

$$b_0 = b_1 = b_3 = b_4 = 0, b_2 = 2$$

$$a_1 = -5, a_2 = 8, a_3 = -5, a_4 = 1$$

La forma del controlador es:

$$\begin{bmatrix} x_1(n+1) \\ x_2(n+1) \\ x_3(n+1) \\ x_4(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5-8 & 5-1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ x_3(n) \\ x_4(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(n)$$

$$y(n) = [0, 2, 0, 0] \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ x_3(n) \\ x_4(n) \end{bmatrix}$$

La ecuación gobernante por su parte es:

$$y(n) - 5y(n-1) + 8y(n-2) - 5y(n-3) + y(n-4) = 2u(n-2)$$

el sistema es de orden cuatro.

5.3.3. Teorema de S. J. Mason

i) Como fue vista en el inciso (5.3.2) los diagramas de interconexión de los sistemas, dan origen a grafos de flujo ponderados en los cuales los factores de ponderación son las funciones de transferencia de los sistemas.

En los grafos dirigidos (digrafos) se distinguen caminos elementales, circuitos elementales y lazos.

Un camino elemental (fig. 5.16.a) es una sucesión de arcos de donde el extremo de cualquiera de ellos, con excepción del inicial, es el origen del siguiente arco y no se utiliza más de una vez un mismo vértice.

Un circuito elemental (fig. 5.16.b) es un camino elemental finito en donde el origen del primer arco es el extremo del último.

Un lazo (fig. 5.16.c) es un circuito elemental con un solo vértice y un solo arco.

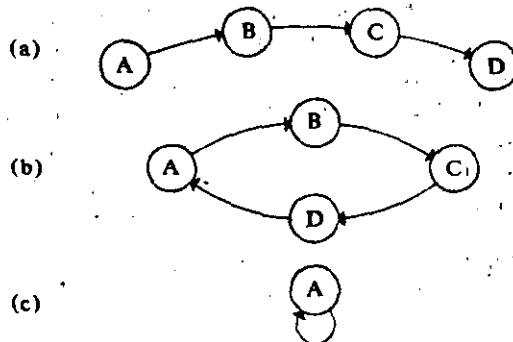


Figura 5.16.

Además, en un grafo de flujo al factor de ponderación del arco (función de transferencia asociada al arco) se le llama la *transmitancia* del arco.

La función de transferencia de su sistema interconectado con insumo en el vértice I y con producto en el vértice J en la terminología adoptada, viene a ser la transmitancia del grafo entre los vértices I y J , se representa mediante \vec{t}_{IJ} .

Ahora bien, S. J. Mason [19] demuestra que la transmitancia de un grafo de flujo entre los vértices I, J está dada por

$$\vec{t}_{IJ} = \frac{1}{\Delta} \sum_{k \in C} \vec{t}_{IJ}^k \Delta^k \quad (5.3.1)$$

En donde

C = conjunto de los caminos en el grafo entre el vértice I y el J .

\vec{t}_{IJ}^k = producto de las transmitancias de los arcos que constituyen el k -ésimo camino en el grafo.

Δ^k = uno más la suma de los productos de las transmitancias de los arcos en circuitos y lazos que no tienen vértices en común con el k -ésimo camino.

Δ = uno más la suma de los productos de las transmitancias de los arcos de la totalidad de circuitos y lazos en el grafo.

Es importante especificar el concepto de "producto de las transmitancias de los circuitos y lazos". Cabe señalar que Mason distingue dos tipos de circuitos, los elementales que corresponden a la definición antes enunciada y para los cuales el producto es negativo, esto es, al resultado de la multiplicación se le cambia el signo. Por otra parte, Mason considera los circuitos compuestos que son combinaciones de circuitos elementales sin vértices en común tomados por pares, ternas, etc. . . y cuyo producto de transmitancias es la multiplicación de los productos de los circuitos elementales involucrados.

Así por ejemplo, considérese el grafo de flujo que aparece en la figura 5.17

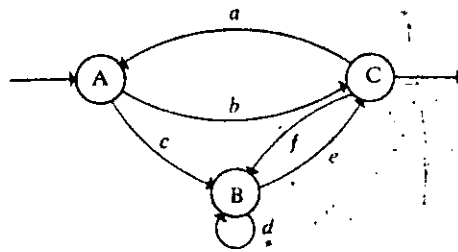


Figura 5.17.

En donde el vértice A es de insumo y el C es de producto. Las funciones de transferencia correspondientes a cada uno de los sistemas que se interconectan, son las transmitancias de los arcos a, b, c, d, e, f

Los circuitos elementales y sus productos de transmitancias aparecen en la figura 5.18.

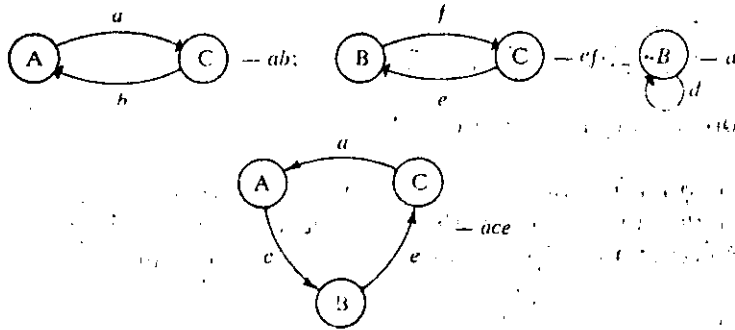


Figura 5.18.

Por otra parte, los circuitos compuestos aparecen en la figura 4.19

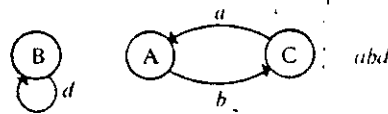


Figura 5.19.

Los caminos para ir del vértice A al C aparecen en la figura 5.20

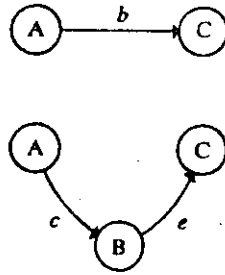


Figura 5.20.

Entonces:

$$\Delta = 1 + (-d - ab - ef - ace + abd)$$

$$\Delta = 1 - d - ab - ef - ace + abd$$

$$\xrightarrow{t} \Delta^1 = b(1 - d) = b - bd$$

$$\xrightarrow{t^2} \Delta^2 = ce$$

de manera que

$$\xrightarrow{t} AC = \frac{b - db + ce}{1 - d - ab - cf - ace + abd}$$

que es la función de transferencia del sistema interconectado.

ii) Obtener la forma del observador y ecuación gobernante para el sistema interconectado cuyo grafo de flujo aparece en la figura 5.21, si la respuesta al pulso en el origen para todos y cada uno de los subsistemas es

$$h(n) = b^n$$

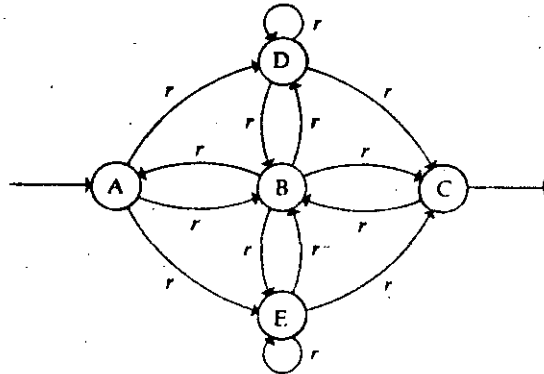


Figura 5.21.

Por (1.5.8) si $h(u) = b^u$

$$h^o(z) = \frac{1}{1 - bz} = r$$

Los circuitos elementales del grafo aparecen en la figura 5.22, conjuntamente con su producto de transmitancias

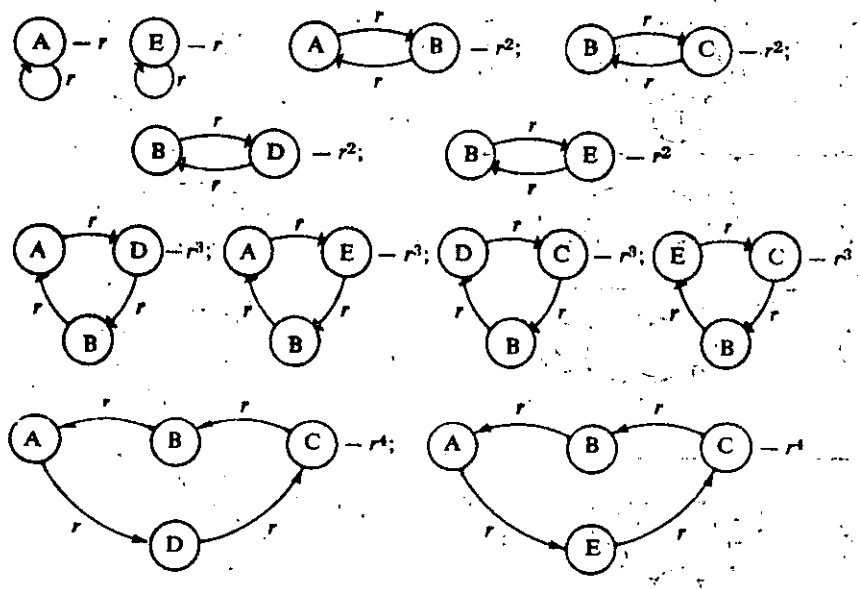


Figura 5.22.

Los circuitos compuestos con sus productos de transmitancias se presenta en la figura 5.23.

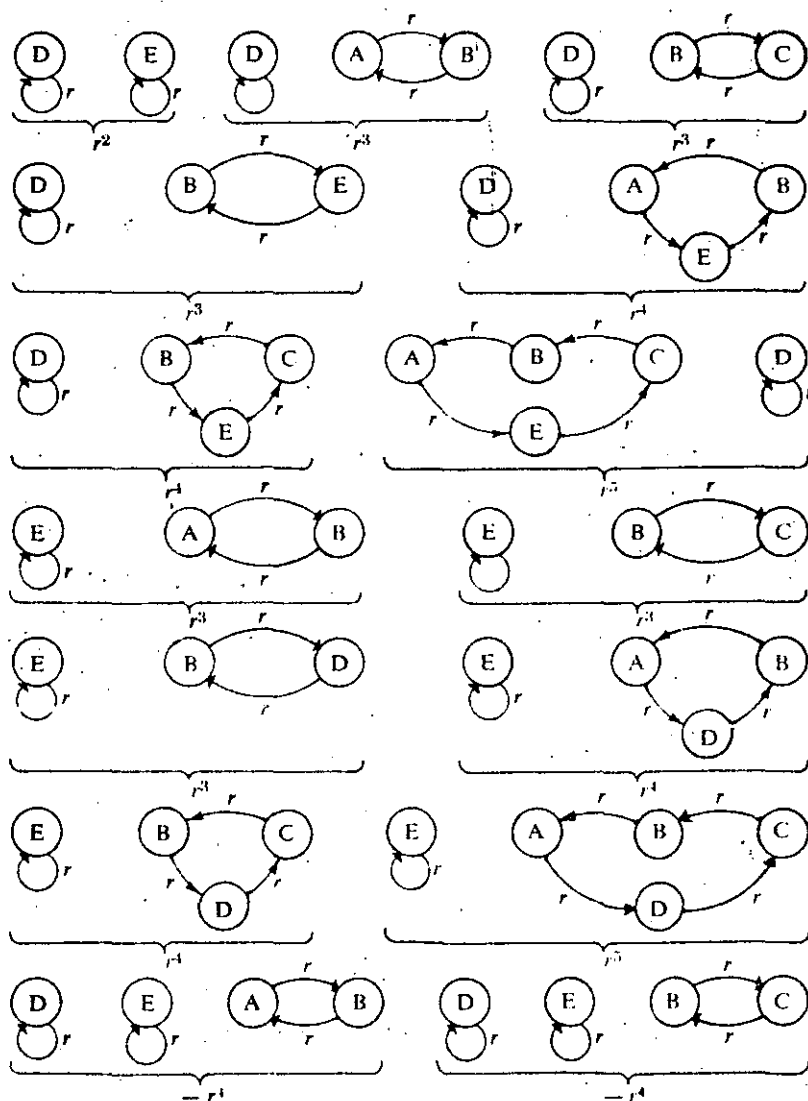


Figura 5.23.

De donde

$$\Delta = 1 - 2r - 3r^2 + 2r^3 + 2r^4$$

Los caminos elementales con sus productos de transmitancia aparecen en la figura 5.24.

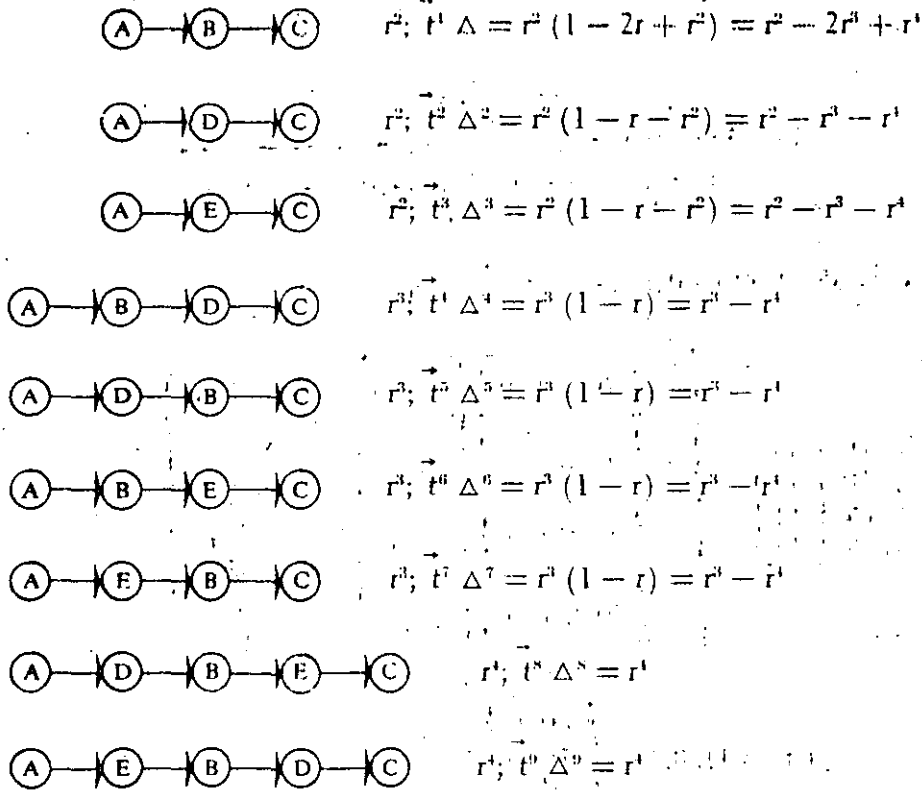


Figura 5.24.

luego

$$t_{ac} = \frac{3r^2 - 3r^4}{1 - 2r - 3r^2 + 2r^3 + 2r^4}$$

La función de transferencia del sistema interconectado es:

$$h^o(z) = \frac{\frac{3}{(1-bz)^2} - \frac{3}{(1-bz)^4}}{1 - \frac{2}{1-bz} - \frac{3}{(1-bz)^2} + \frac{2}{(1-bz)^3} + \frac{2}{(1-bz)^4}}$$

$$h^o(z) = \frac{3(1-bz)^3 - 3(1-bz)}{(1-bz)^2 - 2(1-bz)^4 - 3(1-bz)^3 + 2(1-bz)^2 + 2}$$

haciendo operaciones

$$h^o(z) = \frac{-\frac{3}{4} + \frac{9}{8}bz - \frac{3}{8}b^2z^2}{1 - \frac{9}{8}bz + \frac{1}{8}b^2z^2 + \frac{3}{8}b^3z^3 - \frac{1}{8}b^4z^4}$$

De donde la forma del observador resulta

$$\begin{bmatrix} x_1(n+1) \\ x_2(n+1) \\ x_3(n+1) \\ x_4(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{9}{8}b & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{8}b^2 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{3}{8}b^3 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{1}{8}b^4 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ x_3(n) \\ x_4(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{9}{32}b \\ -\frac{9}{32}b^2 \\ \frac{9}{32}b^3 \\ -\frac{9}{32}b^4 \end{bmatrix} u(n)$$

$$y(n) = [1, 0, 0, 0] \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ x_3(n) \\ x_4(n) \end{bmatrix} - \frac{3}{4}u(n)$$

y la ecuación gobernante del sistema es:

$$y(n) - \frac{9}{8}by(n-1) + \frac{1}{8}b^2y(n-2) + \frac{3}{8}b^3y(n-3) - \frac{1}{8}b^4y(n-4) = \\ -\frac{3}{4}u(n) + \frac{9}{8}bu(n-1) - \frac{3}{8}b^2u(n-2)$$

Ecuación gobernante para el sistema cuyo grafo de flujo aparece en la

figura 5.25, si $h(n) = n$; $h^o(z) = \frac{z}{(1-z)^2} - 1$

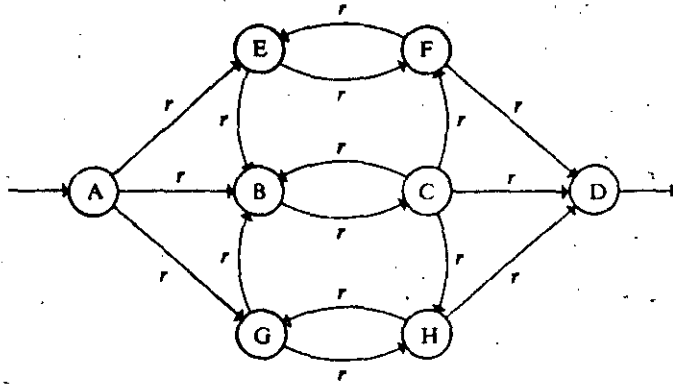


Figura 5.25.

Los circuitos elementales aparecen en la figura 5.26

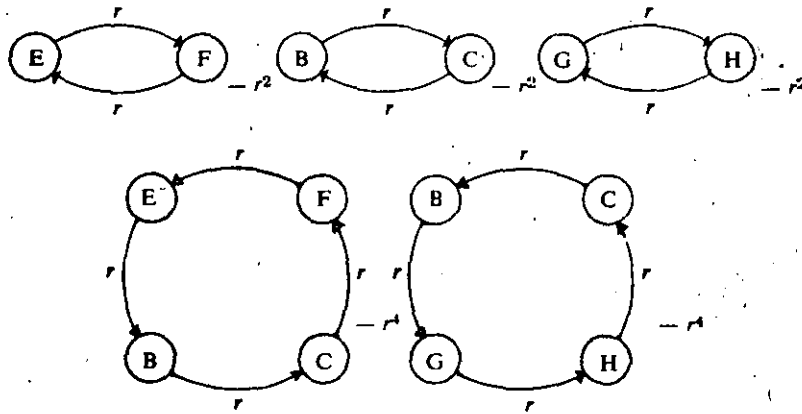


Figura 5.26.

Los circuitos compuestos aparecen en la figura 5.27

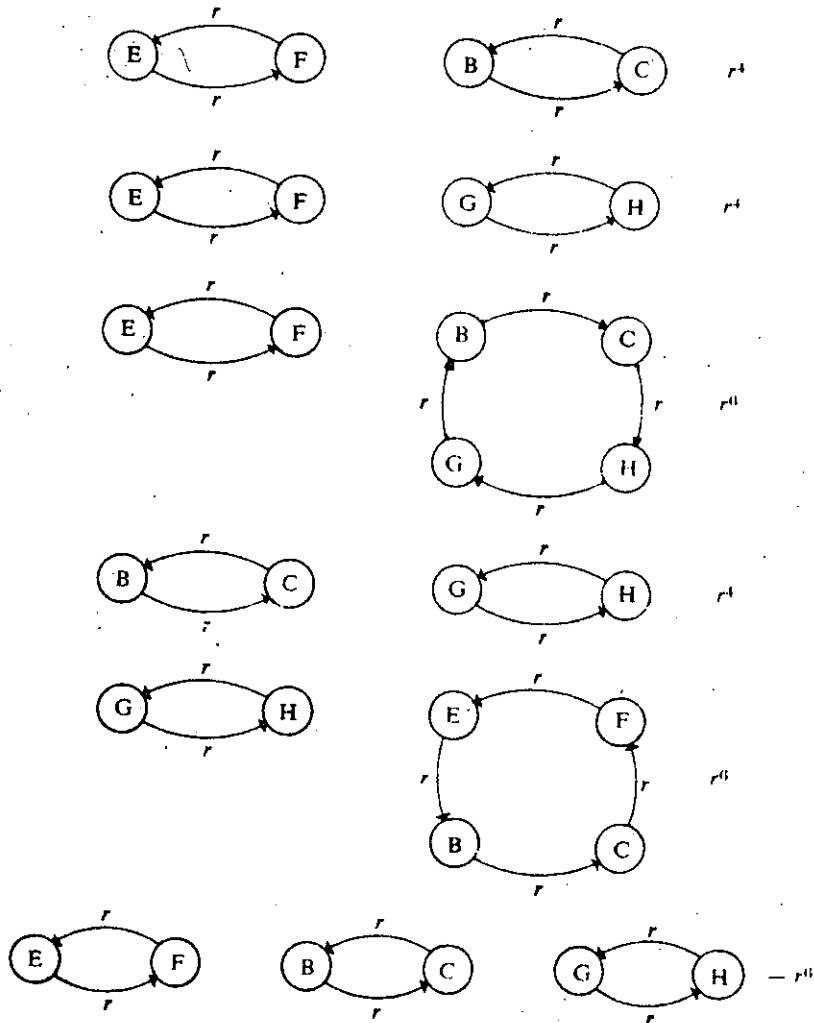


Figura 5.27.

$$\Delta = 1 - 3r^2 + r^4 + r^4$$

Entonces, los caminos elementales que se inician en A y terminan en D son los que aparecen en la figura 5.28

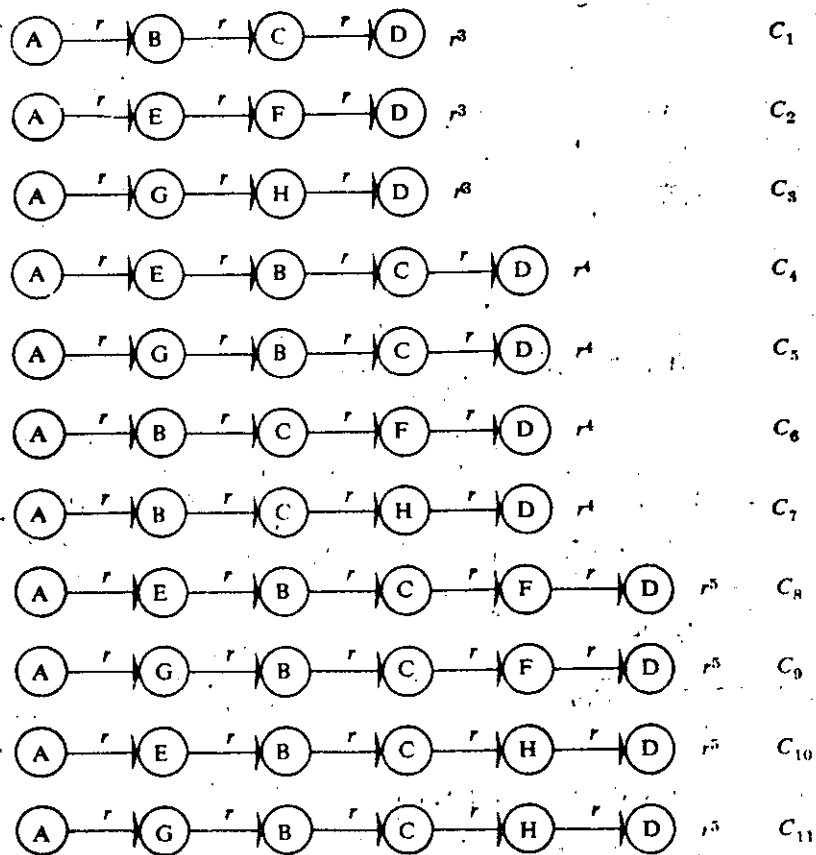


Figura 5.28.

$$\Delta_1 \vec{t}^1 = r^3 (1 - 2r^2 + r^4) = r^3 - 2r^5 + r^7$$

$$\Delta^2 \vec{t}^2 = r^3 (1 - 2r^2) = r^3 - 2r^5$$

$$\Delta^3 \vec{t}^3 = r^3 (1 - 2r^2) = r^3 - 2r^5$$

$$\Delta^4 \vec{t}^4 = r^4 (1 - r^2) = r^4 - r^6$$

$$\Delta^5 \vec{t}^5 = r^4 (1 - r^2) = r^4 - r^6$$

$$\Delta^6 \vec{t}^6 = r^4 (1 - r^2) = r^4 - r^6$$

$$\Delta^7 \vec{t}^7 = r^4 (1 - r^2) = r^4 - r^6$$

$$\Delta^8 \vec{t}^8 = r^5 (1 - r^2) = r^5 - r^7$$

$$\Delta^9 \vec{t}^9 = r^5$$

288 Uso de la T.G.O. en el Análisis de Sistemas Dinámicos (I)

$$\Delta^{10} \vec{t}^{10} = r^{10}$$

$$\Delta^{11} \vec{t}^{11} = r^{11} (1 - r^{11}) = r^{11} - r^{22}$$

$$\sum \Delta^i \vec{t}^i = 3r^1 + 4r^2 - 2r^3 - r^4 - r^5$$

luego

$$\vec{t}_{AD} = \frac{3r^1 + 4r^2 - 2r^3 - r^4 - r^5}{1 - 3r^2 + r^4 + r^{11}}$$

$$h^*(z) = \frac{3 \left[\frac{z}{(1-z)^2} \right]^3 + 4 \left[\frac{z}{(1-z)^2} \right]^4 - 2 \left[\frac{z}{(1-z)^2} \right]^5 - 4 \left[\frac{z}{(1-z)^2} \right]^6 - \left[\frac{z}{(1-z)^2} \right]^7}{1 - 3 \left[\frac{z}{(1-z)^2} \right]^2 + \left[\frac{z}{(1-z)^2} \right]^4 + \left[\frac{z}{(1-z)^2} \right]^{11}}$$

Haciendo operaciones

$$h^*(z) = \frac{3z^3 - 20z^4 + 58z^5 - 100z^6 + 117z^7 - 100z^8 + 58z^9 - 20z^{10} + 3z^{11}}{1 - 13z + 86z^2 - 339z^3 + 918z^4 - 1840z^5 + 2808z^6 - 3284z^7 + 2939z^8 - 1984z^9 + 999z^{10} - 364z^{11} + 91z^{12} - 14z^{13} + z^{14}}$$

la ecuación gobernante del sistema resulta:

$$\begin{aligned} y(n) - 13y(n-1) + 86y(n-2) - 339y(n-3) + 918y(n-4) - \\ 1840y(n-5) + 2808y(n-6) - 3284y(n-7) + 2939y(n-8) - \\ 1984y(n-9) + 999y(n-10) - 364y(n-11) + 91y(n-12) - \\ 14y(n-13) + y(n-14) = 3u(n-3) - 20u(n-4) + 58u(n-5) - \\ 100u(n-6) + 117u(n-7) - 100u(n-8) + 58u(n-9) - \\ 20u(n-10) + 3u(n-11). \end{aligned}$$

5.3.4. Representaciones {A, b, c, d} en sistemas interconectados

i). En paralelo

Considérese el sistema interconectado que aparece junto con su grafo de flujo en la figura 5.29. Este sistema se encuentra representado por {A, b, c, d}. Por su parte los subsistemas admiten respectivamente las



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA
DE SISTEMAS

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA TEORIA DE LA OPTIMIZACION

DR. FELIPE OCHOA ROSSO

NOV, 1984

CAPITULO I

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA TEORIA DE LA OPTIMIZACION.

I.1. INTRODUCCION.

La finalidad de este capítulo es formalizar los conceptos más importantes en la descripción de la naturaleza y alcance de la TEORIA DE LA OPTIMIZACION. Se principia con la definición del problema de optimización, se estudia la complejidad de su naturaleza y se identifican los pasos fundamentales en el proceso de su solución, conforme a la sucesión siguiente:

1. Definición del problema.
2. Formulación de un modelo de optimización.
3. Elección de un método de solución.
4. Aplicación del método de solución

Se estudiará en detalle cada uno de estos pasos del proceso de solución, sus implicaciones en varias aplicaciones y finalmente se presenta una clasificación de modelos de optimización con sus respectivos métodos de solución que vaciamos en gráficas como resumen aclaratorio. El material que constituye este capítulo así como un esquema del desarrollo histórico de la teoría de la optimización (Apéndice B) pretende ser una descripción general de la estructura de la teoría, que más tarde se aplicará a tipos específicos de problemas de optimizar, en lo que constituye la parte fundamental del libro. Finalmente estudiarán varios aspectos de la optimización, de mucha importancia en el campo del análisis y diseño de sistemas de ingeniería.

I.2. EL PROBLEMA DE OPTIMIZAR.

Quando un ingeniero o una persona que toma decisiones, a la que se da el nombre de "elector", se avoca al problema de

elegir un curso de acción, elemento de un conjunto de alternativas, se ve impulsado a escoger una de estas alternativas propuestas: la mejor, en relación a cierta finalidad predeterminada o un conjunto de objetivos en íntima relación con la naturaleza -- del problema.

Presupónese que se puede evaluar valiéndose de un método cuantitativo, el grado en el cual se alcanzan las finalidades u objetivos del problema, para cada curso de acción en alternativa, en otras palabras, es posible obtener una medición de la utilidad de cada uno de los cursos de acción permitidos al elector y éste apoyándose en esta información seleccione la alternativa que produzca la mejor utilidad.

El grado en el cual se obtiene la realización de una meta le damos el nombre de coeficiente de mérito para una selección particular..

DEFINICION.

A partir de un conjunto de alternativas, posiblemente infinito, asociado a cierto problema se da el nombre de problema de optimización, al de elegir una alternativa particular, para la cual el coeficiente de mérito es óptimo, esto es, la elección de la alternativa con la cual se maximiza o minimiza el coeficiente de mérito.

1.3. TEORIA DE LA OPTIMIZACION.

NATURALEZA DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACION.

La naturaleza de un problema de optimización en la mayoría de los casos es muy compleja y en los problemas prácticos, se halla una gran variedad de casos que presentan características diferentes. Para visualizar la complejidad que puede presen

tarse en la naturaleza del problema, se consideran los casos siguientes:

- i) Cuando un elector se enfrenta al problema de optimizar un objetivo bien definido, puede darse el caso que dicha optimización esta sujeta a un conjunto de restricciones, o bien que la solución del problema puede hacerse sin considerar restricción alguna. Esta persona puede también considerar la solución del problema bajo la hipótesis de comportamiento determinista, o bien, de comportamiento estocástico.
- ii) El tomador de decisiones puede estar en comunicación con otras personas, bajo acciones recíprocas y competir con algunas. Cada competidor obviamente pretenderá hacer decisiones que optimicen sus propios coeficientes de mérito.
- iii) Un problema de múltiples estados, puede implicar el tomar acerca él, varias decisiones, donde la finalidad buscada es una optimización de largo alcance en oposición a la suboptimización de un estado particular del problema.

Esta no es sólo una naturaleza compleja, sino que sus modelos son de características estructurales diferentes, lo que claramente indica la necesidad de una variedad de técnicas con que hacerles frente a las soluciones de los problemas de optimización.

El conjunto de todas estas técnicas, especialmente las incluidas bajo los nombres específicos de programación matemáticas de decisiones, programación dinámica, teoría del control, cálculo de variaciones, etc., constituyen con sus fundamentos matemáticos, la teoría general de la optimización.

La teoría de la optimización, en su más amplio sentido, es la rama unificada del análisis matemático que suministra un enfoque formal a las soluciones de los problemas de optimización.

1.4. CONCEPTOS DE LA TEORIA DE LA OPTIMIZACION. PROCESOS DE LA SOLUCION.

Los procesos de solución en los problemas de optimización, no pueden ser idénticos en todos los casos, generalmente difieren de acuerdo con la naturaleza especial del problema; no obstante, siempre es posible distinguir los pasos básicos de dicho proceso, que se presentan en la fig. 1-1. Los diferentes circuitos indican una posible revisión previa a la decisión.

1.5. DEFINICION DEL PROBLEMA.

En el proceso de la definición del problema, se deben identificar las variables de decisión o de control y especificar la forma de sus relaciones recíprocas, así como su rango de variación, implícita o explícitamente. Además, se debe definir un coeficiente de mérito, en función de las variables de control convenientes y establecer finalmente las restricciones que deben cumplir dichas variables.

1.6. FORMULACION DEL MODELO MATEMATICO.

Una vez que el problema ha sido definido convenientemente, el paso siguiente es formular un modelo abstracto, usualmente matemático, que presenta fielmente la estructura esencial del problema y del que fácilmente se pueda lograr la solución, por medio de la aplicación de un procesamiento bien conocido.

Siempre que se haga referencia a modelos, se debe sobrentender que se acepta la definición propuesta por Karlin*: "Un modelo es una abstracción adecuada de la realidad, que preserva la estructura esencial del problema, de esta forma, su análisis proporcionará cierta información, no sólo del problema original, planteo de una situación concreta, sino de otros que presenten la misma estructura formal".

Es claro que la solución del modelo producirá resultados exactos, en el mismo grado de concordancia en el cual el modelo es representativo del problema original, porque si este no ha sido modelado convenientemente, la solución puede conducir a resultados dudosos o completamente erróneos, ejemplo de esta situación es el caso de un modelo de programación lineal del que se obtenga una solución no acotada como consecuencia de no haber incluido en el modelo cierta restricción del problema.

A continuación se analizan algunas características privativas, de los modelos de optimización, con la finalidad de proponer una clasificación adecuada, obviamente útil para una identificación posterior de los modelos que se estudian en los capítulos siguientes.

En los modelos de optimización, se distinguen tres componentes principales, a saber:

- (1) El conjunto de variables del problema.
- (2) La optimización del coeficiente de mérito.
- (3) El dominio de definición de las variables del problema, determinado por las restricciones impuestas a los valores que pueden tomar las citadas variables.

*Karlin, S., Mathematical Methods and Theory in Games, Programming, and Economics, Vol. I, Addison-Wesley, p.1.

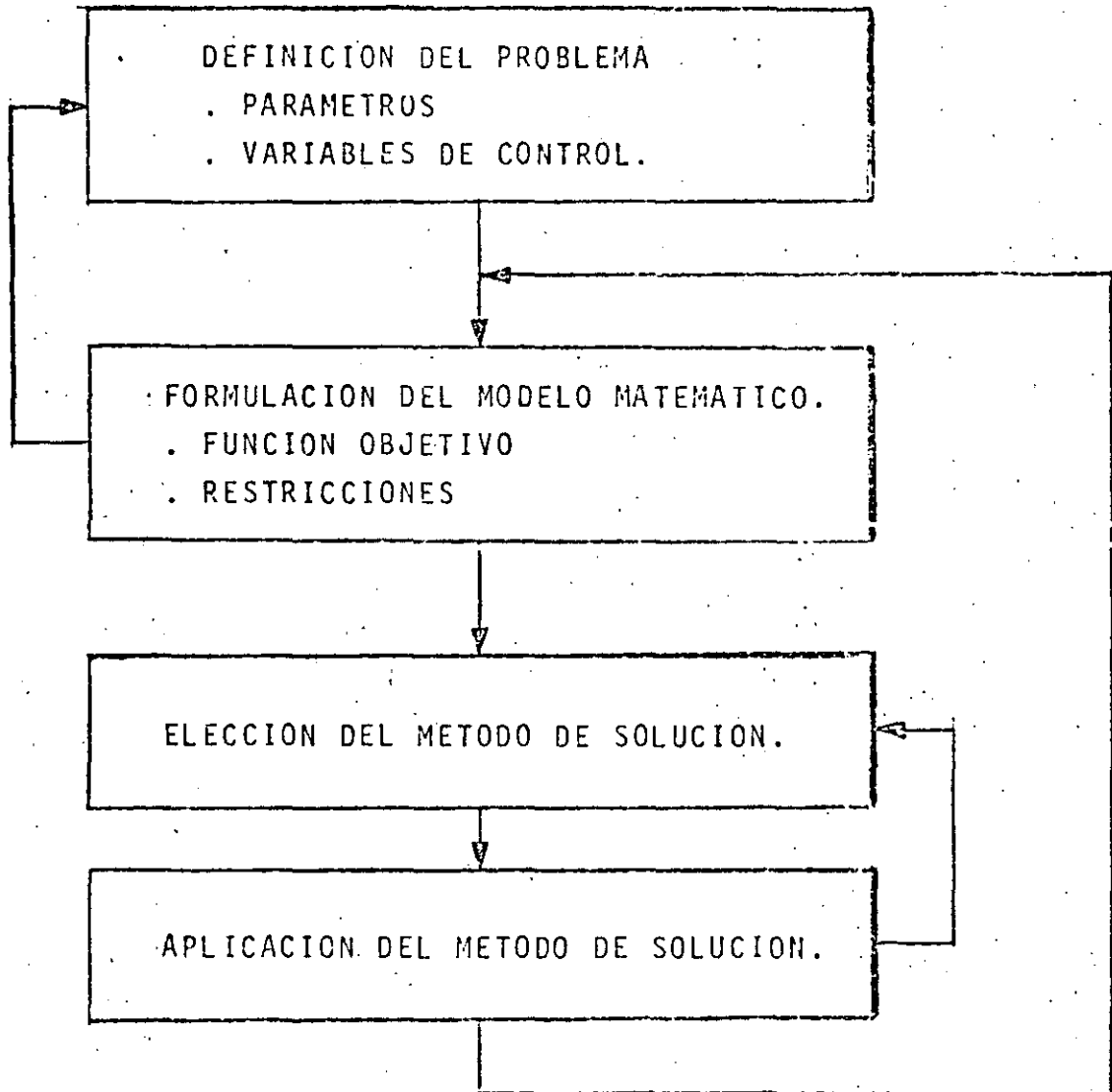


Fig. 1-1 PROCESO DE SOLUCION DE UN PROBLEMA DE OPTIMIZACION.

La solución óptima en ciertas clases de problemas de optimización, son valores numéricos asignados a las variables del problema, que satisfacen a las restricciones y simultáneamente optimizan el coeficiente de mérito.

En otras clases de problemas de optimización-los -- variacionales--se procura determinar una curva o función, que satisfaga un conjunto de restricciones y optimice a cierta expresión funcional del conjunto de curvas solución.

En ciertos problemas, el objetivo se maneja sucintamente en forma matemática como una función de las variables de control; en otros, resulta imposible obtener esta representación sucinta y el coeficiente de mérito, para un conjunto dado de valores de las variables de control, solamente se conoce después de dar fin a un proceso complicado: un proceso de simulación, un análisis de ingeniería, la solución de un programa de computación muy elaborado, o una tabla de estimaciones.

Además los problemas pueden ser restringidos o irrestringidos. En los problemas restringidos de fácil formulación en forma matemática sucinta, la naturaleza de las expresiones restrictoras, pueden adoptar muy diversas formas, por ejemplo, pueden ser expresiones algebraicas o trascendentes, igualdades o desigualdades, funciones lineales o no lineales, el dominio de las variables pueden estar dado por un conjunto discreto o continuo. En algunos casos las restricciones también pueden ser diferenciales o integrales definidas.

A la luz del estudio anterior, es posible construir dos árboles que estructuran la clasificación de los modelos de optimización, ilustrados en las fig.1.2. Obviamente se puede desarrollar el árbol en las direcciones vertical y horizontal para lograr la construcción tan completa como sea necesario o como se quiera.

De este modo es posible distinguir ciertas ramas del árbol, como representantes de ciertas clases específicas de problemas cuyo procedimiento de solución es un desarrollo matemático bien conocido, por ejemplo los modelos pertenecientes a la rama de optimización restringida, para los cuales tanto las restricciones como el objetivo se pueden representar brevemente en conformación algebraica, constituyen la parte de la teoría de la optimización conocida generalmente como Programación Matemática.

Un segundo ejemplo se refiere a la clase de problemas, donde su función objetivo explícita, se expresa con una integral definida: caso de un objetivo funcional con otras condiciones adicionales o sin ellas. La solución de dichos modelos cae en el dominio del Cálculo de Variaciones clásico.

Otro ejemplo a examinar son los modelos restringidos, en los cuales es imposible expresar las funciones restrictivas así como las funciones objetivo, concisamente valiéndose de funciones matemáticas la optimización de tales modelos, solamente se puede alcanzar mediante cualquier recurso "sin llegar hasta la fuerza bruta". Las técnicas usualmente aplicadas pertenecen al dominio de los generalmente llamados Métodos de Investigación directa. En esta clase de modelos se hallan ciertos procesos estocásticos, por ejemplo una línea de espera, un proceso dado de prórrogo, etc., analizables mediante una costosa simulación en la computadora, donde se pueden variar los parámetros de entrada y efectuar la simulación con cada uno de los conjuntos de valores y en esta forma, estimar con cada juego de parámetros de entrada, una MEDICIÓN DE LA EFECTIVIDAD (M.E) asociada con la salida de cada corrida. Si el problema es la elección de un juego de parámetros de entrada que optimice el ME entonces en este caso se requiere una técnica de investigación directa capaz de hallar el óptimo que colateralmente minimice el número de ensayos de simulación.

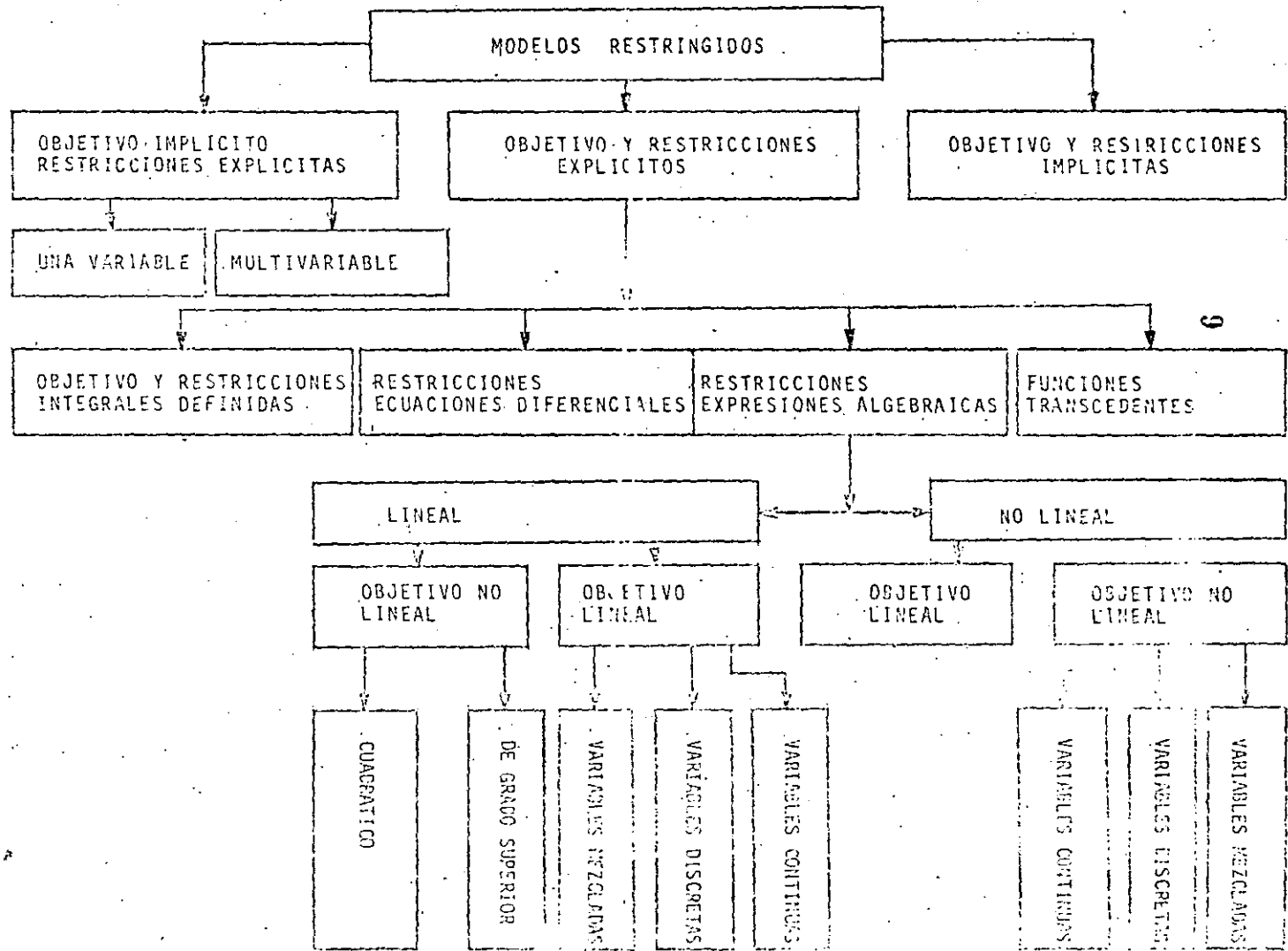
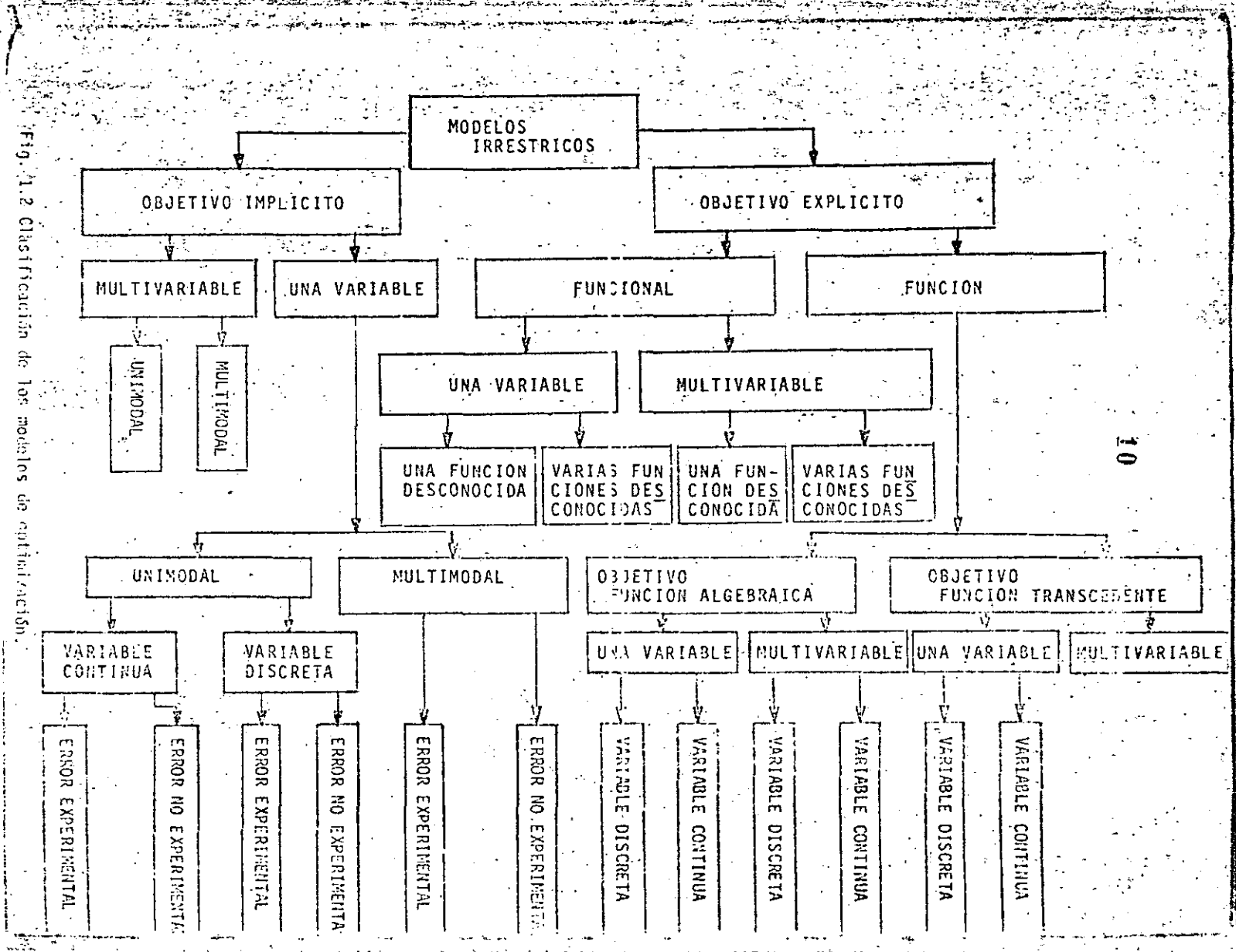


Fig. 1.2 Clasificación de los modelos de optimización.

Fig. 1.2 Clasificación de los modelos de optimización.



1.7. TECNICAS DE SOLUCIÓN.

Se da el nombre de técnicas de solución a los procedimientos y algoritmos diseñados para lograr la solución de los problemas de optimización.

La solución verdadera usualmente implica determinar matemáticamente los valores numéricos de las variables de control y el valor óptimo del coeficiente de mérito.

Generalmente, por necesidades didácticas, los métodos de optimización, se dividen en dos categorías mayores: los métodos directos y los indirectos.

TECNICAS DIRECTAS.

En los métodos directos, la solución óptima se obtiene con el cálculo directo de los valores de la función objetivo en diferentes puntos del dominio de factibilidad; los valores obtenidos se comparan, luego utilizando un criterio auxiliar, se analiza un nuevo punto con la esperanza de mejorar el valor de la función objetivo.

Por otra parte, en los métodos indirectos, se busca un conjunto de valores de las variables de control que satisfagan a las necesarias y suficientes condiciones de optimidad conocidas. Los Métodos Clásicos del Cálculo Diferencial, son un ejemplo del tipo indirecto: ciertamente, primero se calculan los valores de las variables que anulan a las primeras derivadas parciales de la función objetivo, siempre y cuando la continuidad de la función y la existencia de las derivadas se halle garantizada en el dominio de interés; en esta forma, el problema de optimizar se transforma en otro de calcular las raíces de una ecuación.

El algoritmo Simplex, de programación lineal, utiliza tanto el método directo como el indirecto, en efecto, realiza una investigación directa en el conjunto de los puntos extremos del dominio de factibilidad y únicamente en ellos porque son los que satisfacen las condiciones necesarias para la optimalidad, en esta forma la función objetivo puede ser por lo menos tan buena como en el paso anterior. Finalmente, se detecta el óptimo entre el conjunto de puntos extremos, cuando se satisface el criterio indirecto de factibilidad de la solución elemental asociada al problema dual.

En algunos modelos matemáticos de optimización, en uno de los métodos de solución se transforma la estructura matemática del modelo original, en otra equivalente pero cuya solución se alcanza más fácilmente que en el modelo original. (veanse los capítulos III y IV).

Considerese la metodología de la PROGRAMACION GEOMETRICA*; en este caso se formula el posinomio que se quiere optimizar en función del problema dual y es este modelo el que se resuelve. Otro ejemplo es la transformación de un problema de programación separable no lineal en otro de programación lineal.

CLASIFICACION DE LAS TECNICAS DIRECTAS.

Las técnicas directas se subdividen en dos grandes grupos:

- 1) Métodos simultáneos.
- 2) Métodos sucesivos.

* Duffin, R.J., E.L. Peterson and C.M. Zener, Geometric Programming John Wiley, 1967.

En las técnicas de investigación simultánea se calculan los valores de la función objetivo o puntos de la superficie de respuestas, en un conjunto de puntos del dominio, determinados a priori, con arreglo a una cierta estrategia de investigación.

En los métodos de investigación sucesiva, se examinan uno después de otro varios ensayos de solución, determinando la ubicación de los ensayos subsiguientes de acuerdo con la información obtenida de los resultados de los ensayos anteriores.

Se presenta en la fig. 1.3 un subconjunto de las técnicas representativas de solución para cada una de las clases de métodos que se estudian en esta sección.

SELECCION DE UN METODO.

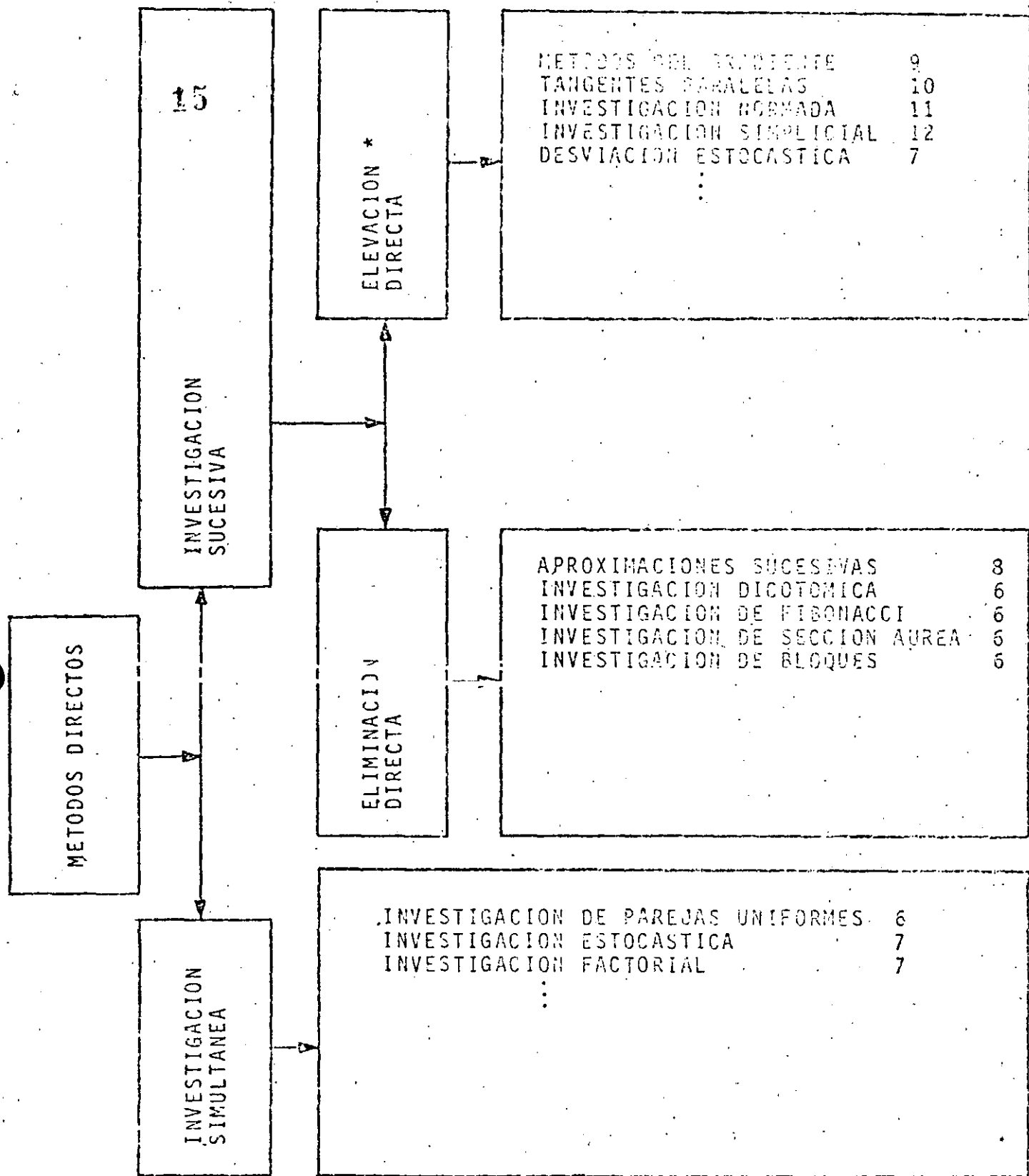
La elección de un método ventajoso de solución, en cierta clase de problemas depende de tipo de modelo empleando en su planteo, de las técnicas existentes para dar solución a ese modelo en particular y de las facilidades computacionales con las que cuenta el ingeniero-analista.

En el proceso de selección se pueden considerar factores tales como las linealidades del modelo, el número de variables, el número de restricciones, de estructuras especiales, de las separabilidad o acoplamiento débil de las variables en las restricciones, en la función objetivo o en ambas, o bien, superficies de restricción de fácil interpretación de carácter geométrico, etc.

La elección final de un método, ad hoc, para un problema particular, depende entonces de las propiedades detalladas del modelo, tanto como de las técnicas de solución que forma parte del paquete de programación (software) utilizable, en el centro de computación donde se procesa la solución.

Con esto, se ha presentado una breve descripción de algunas clases de problemas de optimización, de modelos matemáticos aplicables a estos problemas y de los métodos utilizables en su solución. Para colocar el desarrollo de la teoría de la optimización en una justa perspectiva, debe el lector acudir al Apéndice B, donde se expone el camino seguido por varios matemáticos con las más significativas de sus contribuciones a través del paso de los años.

En las secciones que siguen se presentan los conceptos que estructuran la optimización de los sistemas de ingeniería, como columna vertebral los problemas que se estudiarán en la parte principal del texto.



NOTA: Los números entre llaves corresponden a las referencias bibliográficas de la sección B-10

* Para un estudio de la eliminación comparada con la elevación consúltese 6

Fig. 1.3 Clasificación de los métodos de solución.

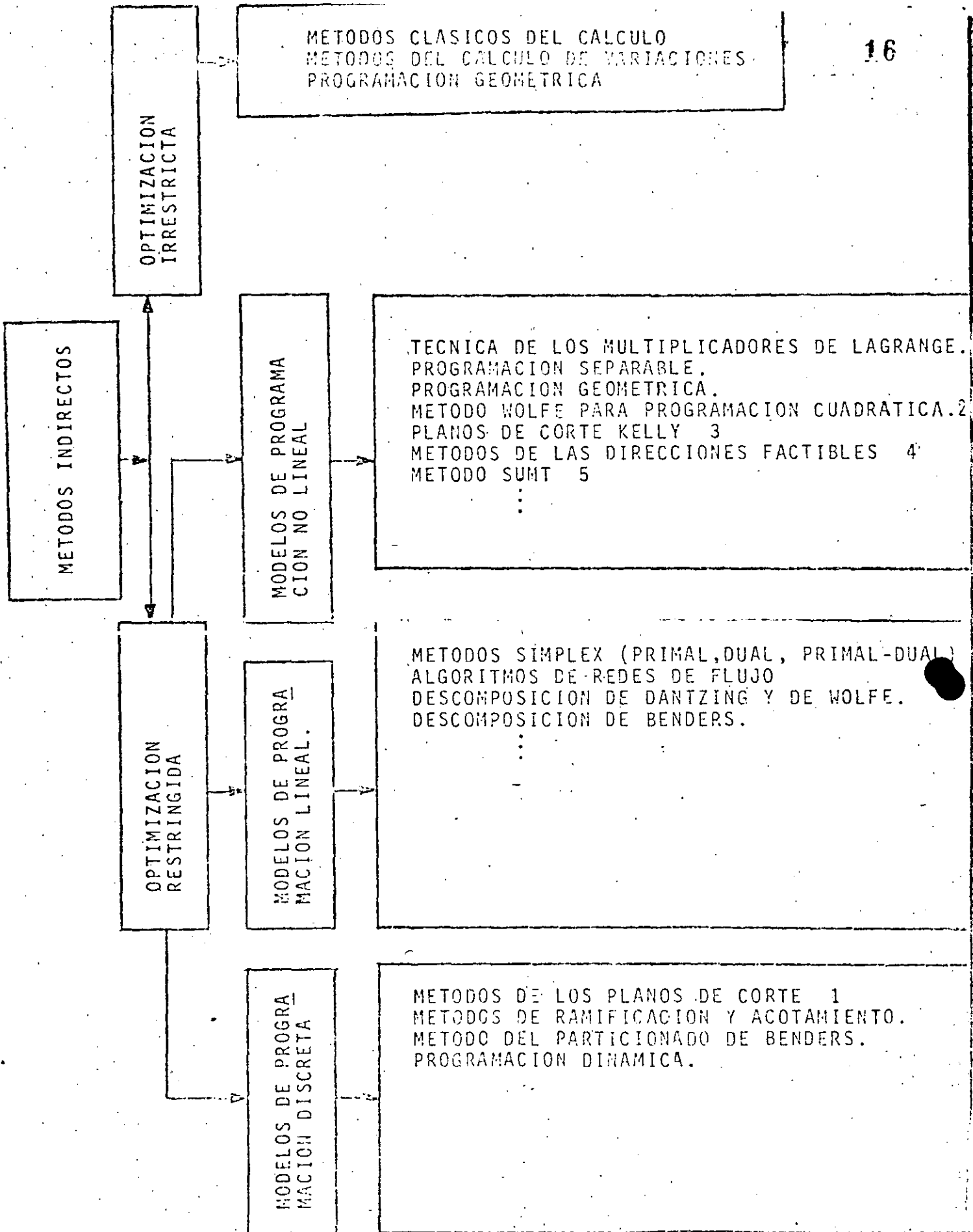


Fig. 1.3 Clasificación de los Métodos de Solución.

OPTIMIZACION DE LOS SISTEMAS DE INGENIERIA.

El ingeniero utiliza los métodos experimentales y lógicos-matemático para analizar e interpretar el comportamiento del mundo físico; pero el nivel que la problemática exige es el estar en condiciones de lograr decisiones convenientes en relación a la inversión de recursos escasos cuya finalidad es promover el funcionamiento rentable de instalaciones, utilidad económica, sin desatender a las urgencias sociales.

En general, en un diseño, el ingeniero busca que la instalación cumpla con cierto comportamiento específico en forma económica; el significado del concepto "ECONOMICO", da lugar a varias interpretaciones; puede significar un costo mínimo del diseño incluyendo tanto los costos de la construcción como los de funcionamiento. Por otra parte, se puede buscar un diseño que produzca la más alta tasa de recuperación y funcionamiento. Obviamente también se pueden mezclar ponderadamente estos dos conceptos extremos.

De lo expuesto se infiere que el ingeniero en su labor de estructurar e implantar las mejores soluciones a los problemas que se le plantean en los términos que se manifestaron, afronta problemas de optimización con el significado que se desarrolló en las secciones anteriores.

Desde el punto de vista práctico de la cuantificación, en la gran mayoría de los sistemas de ingeniería, los problemas que surgen durante el proceso del diseño son tan complejos que resulta imposible construir un modelo capaz de solucionar la totalidad del problema utilizando solamente una de las técnicas citadas.

No obstante, en cualquier sistema de ingeniería, el problema del diseño se define en función del conjunto de fronteras - que delimitan el rango de los sistemas de interés. Las fronteras representan una separación razonable, aunque un tanto arbitraria, del sistema en estudio en relación a otros en los cuales se halla incluido o comprendido; consecuentemente existe la posibilidad de ver un problema de diseño como una suboptimización de un conjunto de subsistemas, cuya unión constituye el sistema que mueve nuestro interés. Por consiguiente dentro de un sistema de ingeniería es práctica común descomponer un problema de diseño en componentes - suficientemente definidas capaces de admitir la aplicación de las técnicas de optimización.

Evidentemente, el conjunto de soluciones óptimas de las componentes no constituyen en general un óptimo del sistema original, es solamente una solución subóptima.

Los procedimientos tradicionales para resolver problemas de diseño en ingeniería usualmente recurrían al método de aproximaciones sucesivas (trial and error procedure), pero en los nuevos enfoques recomiendan que en aquellos casos de sistemas donde los problemas de diseño pueden someterse con éxito a las técnicas de optimización matemática, el ingeniero-analista puede establecer las fronteras de acuerdo con las componentes en las que fragmentó el problema de diseño, en forma tal, que sea posible una representación matemática compacta del sistema. Lograda la representación en esta forma el diseñador se halla en condiciones de calcular la solución óptima del problema de diseño.

Cuando es posible aislar un fragmento del sistema de extensividad física significativa y se obtiene su diseño óptimo determinado por medio de un procedimiento de convergencia, se dice que existe un algoritmo de síntesis para el diseño del sistema. Si no es posible aislar parte del problema de diseño, cuya optimi-

zación se logre siguiendo un procedimiento de síntesis el diseñador debe resignarse a establecer partes del problema de diseño cuyas soluciones resulten optimizaciones a pequeña escala. La solución de estas optimizaciones a pequeña escala, se pueden considerar como partes del sistema total; son de interés especial en un proceso incremental de desarrollo de un algoritmo total de síntesis.

En este trabajo se dedican varias páginas a la exposición de partes de problemas de diseño en ingeniería cuya solución se puede alcanzar por medio de técnicas de optimización conocida. La primera parte del material cubre la asignación de recursos de capital a un conjunto finito de instalaciones. Los problemas que implican la síntesis de redes de transportación se exponen en las partes restantes del libro.

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" IMPARTIDO EN ESTA DIVISION DEL 19 AL 30 DE NOVIEMBRE.

- 1.- HERNANDEZ BRAVO SALVADOR
G. M. O.
GERENTE DE MANTENIMIENTO
AV. INSURGENTES NORTE No. 489
277-19-55 y 277-42-52
AV. CIPRES No. 229
COL. VERGEL DE COAPA
DELEGACION TLALPAN
14320 MEXICO, D.F.
- 2.- ALEGRIA SONI ERNESTO
S. S. A. DIR. GRAL. ESTADISTICA
E INFORMATICA
JEFE DEL DEPTO. DISEÑO DE SISTEMAS
REFORMA No. 503
COL. CUAUHTEMOC
DELEGACION CUAUHTEMOC
06500 MEXICO, D.F.
553-75-30
PROL. CARPIO No. 514-12
COL. SANTO TOMAS
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
547-91-55
- 3.- ARANDA PASTOR ANTONIO
PETROLEOS MEXICANOS
COORDINADOR DE PROYECTOS
MARINA NACIONAL No. 436
254-47-52
SANCHEZ AZCONA No. 1651 #801
COL. DEL VALLE
DELEGACION BENITO JUAREZ
03100 MEXICO, D.F.
688-68-48
- 4.- ARIAS CAMARENA RAUL
SABRITAS, S.A. DE C.V.
GERENTE DE PROYECTOS
NORTE 45 No. 740
COL. INDUSTRIAL VALLEJO
E. CASTELAR No. 212-8
COL. POLANCO
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
11560 MEXICO, D.F.
540-34-36
- 5.- BONFANTI OCHOA ENRICO
UNAM
JEFE UNIDAD DE HISTORIAS ACAD.
CIUDAD UNIVERSITARIA EDIF. IIMAS
550-50-45
DIV. DEL NORTE No. 3006 BIS INT. 6
COL. ATLANTIDA
DELEGACION COYOACAN
549-72-37
- 6.- CALDERON LOPEZ LENA EZEQUIEL
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
C. T. TULA
JEFE DEPARTAMENTO CENTRAL "A"
CONTANTINOPLA No. 406
COL. VALLE DORADO
DELEGACION TLALNEPANTLA
379-57-02
- 7.- CANCINO IBARRA MARIO ESTEBAN
COMISION FEDERAL ELECTRICIDAD
SUPERINTENDENTE DE TURNO "A"
PROLONG. FAJA DE ORA S/N
SALAMANCA, GTO.
823-99
REYNOSA No. 423
BELLAVISTA
36730 SALAMANCA, GTO.
8-16-36

- 8.- CEDILLO REYNA JOSE
INDUSTRIAL MINERA MEXICO, S.A.
ANALISTA PROGRAMADOR
AV. BAJA CALIFORNIA No. 200.
COL. ROMA
DELEGACION CUAUHTEMOC
564-70-66 ext. 2104
- LIBERTAD No. 28
COL. SAN ALVARO
DELEGACION AZCAPOTZALCO
02090 MEXICO, D.F.
399-67-87
- 9.- CUREÑO MIRA ALFONSO
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
INGENIERO CALCULISTA
EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS No. 152
COL. SAN BARTOLO ATEPEHUACAN
07730 MEXICO, D.F.
567-66-00
- SEVILLA No. 318
COL. PORTALES
DELEGACION BENITO JUAREZ
03300 MEXICO, D.F.
539-16-15
- 10.- DAMIAN SILVA OSCAR
DIREC. GRAL. ING. DE SISTEMAS S.C.T.
JEFE OFNA: COMUNICACIONES
AV. MICHOACAN S/N
COL. TEPALCATES
- ROMANA 47 NZA. 16 LOTE 11
EL OLIVO II
DELEGACION TLALPAN
- 11.- ENRIQUE BOLANOS JACQUELINE
S. S. A.
PROGRAMADOR
REFORMA No. 503-3er. PISO
COL. CUAUHTEMOC
DELEGACION CUAUHTEMOC
06696 MEXICO, D.F.
553-75-20
- PLATINO No. 256
COL. VALLE GOMEZ
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA
15210 MEXICO, D.F.
517-38-17
- 12.- ESPRIELLA MEDINA ENRIQUE
CIA. LUZ Y FZA. DEL CENTRO
AUXILIAR ADMVO. GERENCIA PLANEACION
AV. MELCHOR OCAMPO No. 171 OFIC. 402
COL. ANAHUAC
546-67-96
- JUAN O'DONOJU No. 256
COL. LOMAS DE CHAPULTEPEC
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
11000 MEXICO, D.F.
- 13.- FONSECA CAMPOS ARTURO
DECOH
SUBDIRECTOR INFORMATICA
CALZ. SAN ANTONIO ABAD No. 231
COL. OBRERA
DELEGACION CUAUHTEMOC
06800 MEXICO, D.F.
588-32-27
- AV. COPILCO No. 217-5
COL. COYOACAN
DELEGACION COYOACAN
- 14.- GARCIA CAMACHO JORGE
COORDINACION ADMCION ESCOLAR
JEFE UNIDAD REGISTRO CONTROL ESC.
CIUDAD UNIVERSITARIA
55-50-45
- DR. BALMIS No. 24-14
COL. DOCTORES
DELEGACION CUAUHTEMOC
06720 MEXICO, D.F.
578-58-29
- 15.- GAYOSSO ESCAMILLA NELLY
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
PROFESIONAL ASISTENTE "A"
EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS No. 152
COL. SAN BARTOLO ATEPEHUACAN
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO
567-66-00
- TAJIN No. 325-33
COL. NARVARTE
DELEGACION BENITO JUAREZ
03020 MEXICO, D.F.
567-66-00

- 16.- GOMEZ PEREZ VICTOR
S. S.A.
LIDER DE PROYECTOS
REFORMA No. 503-3er. PISO
COL. CUAUHTEMOC
DELEGACION CUAUHTEMOC
06500 MEXICO, D.F.
553-75-30
- 17.- GOMEZ TORRES ANA HILDA
DIREC. GRAL. EST. PROSPECTIVOS
JEFE OFICINA INFORMACION Y SISTEMAS
AV. DIVISION DEL NORTE No. 114
COL. DEL VALLE
DELEGACION BENITO JUAREZ
03100 MEXICO, D.F.
543-05-75
- 18.- JUARICO GUASSO JESUS EDUARDO
S. S. A.
JEFE DE DEPARTAMENTO
PASEO DE LA REFORMA No. 503-3er. PISO
COL. CUAUHTEMOC
DELEGACION CUAUHTEMOC
06500 MEXICO, D.F.
- 19.- LOPEZ RAMIREZ JORGE ROBERTO
S. A. R. H.
ANALISTA
PLAZA DE LA REP. No. 31
COL. TABACALERA
DELEGACION CUAUHTEMOC
06000 MEXICO, DF.
535-00-02
- 20.- LOPEZ VILLAFANA FELIPE DE JESUS
S. C. T.
CUANTIFICADOR OBRAS MARITIMAS
AV. INSURGENTES SUR No. 664-6o. PISO
COL. DEL VALLE
DELEGACION BENITO JUAREZ
687-53-27
- 21.- MAQUEDA ESTRADA SERGIO
DEPTO. DEL DISTRITO FEDERAL
JEFE UNIDAD DEPARTAMENTAL
PINO SUAREZ No. 15-2o. PISO
COL. PRIMER CUADRO
DELEGACION CUAUHTEMOC
542-27-54
- 22.- MARTINEZ JURADO OSCAR ENRIQUE
FAC. INGENIERIA UNAM
JEFE SECCION PROG. PRESUP. COORD. PRAC.
AV. UNIVERSIDAD No. 3000
CD. UNIVERSITARIA
DELEGACION COYOACAN
548-96-69
- SULLIVAN No. 39-11
COL. SAN RAFAEL
DELEGACION CUAUHTEMOC
592-56-77
- AV. FCO. I. MADERO No. 123
COL. LOMAS DEL HUIZACHAL
DELEGACION NAUCALPAN
53840 MEXICO, D. F.
589-81-56
- CARLOS PEREYRA No. 46
COL. VIADUCTO PIEDAD
DELEGACION IZTACALCO
08200 MEXICO, D.F.
553-75-30
- FCO. PIMENTEL No. 27 ALTOS 5
COL. SAN RAFAEL
DELEGACION CUAUHTEMOC
06000 MEXICO, D.F.
535-36-11
- RABAUL No. 100
COL. ELECTRICISTAS
DELEGACION ATZCAPOTZALCO
02060 MEXICO, D.F.
561-16-77
- CERRO CHIQUIHUIE No. 31
COL. CAMPESTRE CHURUBUSCO
DELEGACION COYOACAN
04200 MEXICO, D.F.
549-39-50
- TAJIN No. 190-3
COL. NARVARTE
DELEGACION BENITO JUAREZ
03020 MEXICO, D.F.
519-31-25

- 23.- MEJIAS RUIZ ROMULO
CORPORACION CONSULTORIA, S.A.
DIRECTOR DE PROYECTOS
SANTO DOMINGO No. 14
COL. COVE
516-46-13
- 24.- MONTES TAPIA EDUARDO
S. S. A.
JEFE DE DEPARTAMENTO
PASEO DE LA REFORMA No. 503-3er.PISO
COL. CUAUHEMOC
DELEGACION CUAUHEMOC
286-29-23
- 25.- MORENO MARTINEZ JORGE
- 26.- MORALES GUZMAN CARLOS
PEMEX
COORDINADOR
MARINA NACIONAL No. 326
COL. ANAHUAC
- 27.- NAVARRO NIETO J. ANTONIO
INSTITUTO MEXICANO DEL COMERCIO EXT.
TECNICO EN INFORMATICA
ALFONSO REYES No. 30
- 28.- NARANJO SAINZ GUSTAVO
FONEI BANCO DE MEXICO
ANALISTA DE SISTEMAS
AV. INSURGENTES SUR No. 1106-2o.PISO
COL. DEL VALLE
DELEGACION BENITO JUAREZ
559-82-66
- 29.- PAMPLONA RANGEL ALEJANDRO
S.E.P. CETI
PROFESOR
EL CHACO No. 3223
COL. PROVIDENCIA
GUADALAJARA, JAL.
41-14-15
- 30.- PASTRANA NOVOA FRANCISCO
INSTITUTO MEXICANO DE COMERCIO EXT.
JEFE DESARROLLO DE SISTEMAS
AV. ALFONSO REYES No. 30
COL. CONDESA
211-00-36 ext. 273
- AVE. UNIVERSIDAD No. 1923 EDIF. H-101
COL. COPILCO EL BAJO
DELEGACION COYOACAN
04310 MEXICO, D.F.
548-11-70
- CERRADA 8 DE AGOSTO No. 19
COL. 8 DE AGOSTO
DELEGACION BENITO JUAREZ
03830 MEXICO, D.F.
277-37-29
- UNIDAD LOMA H 52-A-201
COL. IRRIGACION
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
11200 MEXICO, D.F.
557-30-72
- INSURGENTES CENTRO No. 58
COL. TABACALERA
DELEGACION CUAUHEMOC
566-71-33
- MIRAMON No. 184-7
COL. MARTIN CARRERA
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO
- CALLE ROSA TREPADORA No. 81
COL. MOLINO DE ROSAS
DELEGACION ALVARO OBREGON
01470 MEXICO, D.F.
651-42-97
- AV. VALLARTA No. 3328
COL. SAN JORGE
44690 GUADALAJARA, JAL.
15-71-33
- VALLE DEL CARMEN No. 234
COL. VALLE DE ARAGON
57100 ESTADO DE MEXICO
211-00-36 ext. 273

31.- RAMIREZ RICARDO
U. N. A. M.

32.- RAMOS HINOJOSA ANSELMO
S. S. A.
PROGRAMADOR
REFORMA No. 503
DELEGACION CUAUHEMOC

HIMALAYA No. 12
COL. LOS VOLCANES
DELEGACION TLALPAN

33.- RODRIGUEZ GARZA MARCO ANTONIO
DIREC. GRAL. ING. SISTEMAS S. C. T.
LIDER DE PROYECTO
AV. TEPALCATES S/N ó AV. MICHOACAN S/N
COL. TEPALCATES
DELEGACION IZTAPALAPA
691-76-01

ANGEL URRAZA No. 908
COL. DEL VALLE
DELEGACION BENITO JUAREZ
03100 MEXICO, D.F.
575-54-45

34.- ROMERO ISLAS PEDRO MIGUEL
CIA. DE LUZ Y FZA. DEL CENTRO, S.A.
INGENIERO
TLALOC No. 90-4o. PISO
COL. TLAXPANA
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
546-39-14

ALATRISTE No. 212
PACHUCA, HGO.

35.- ROMERO TSCHESCHNER LAURA
DIREC. GRAL. CONSTRUC. OPERAC. HIDRAULICA
JEFE SECCION CAPACITACION SOPORTE TECNICO
SAN ANTONIO ABAD No. 233-1er. PISO
COL. OBRERA
DELEGACION CUAUHEMOC
06800 MEXICO, D.F.
588-32-27

COMPAS No. 30
COL. SEVILLA
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA
15840 MEXICO, D.F.
552-40-23

36.- SANTIAGO REUS JOSE
SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA
JEFE DEPTO. DE FACTIBILIDAD OPERATIVA
SISTEMAS DE COMPUTO
MELCHOR OCAMPO No. 487-3er. PISO
COL. NUEVA ANZURES
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
11590 MEXICO, D.F.
555-33-42 ext. 21

37.- SANTOS ARAOZ GILBERTO
S. C. T.
JEFE DE OFICINA
XOLA EXQ. AV. UNIVERSIDAD
COL. NARVARTE
DELEGACION BENITO JUAREZ
519-51-34

AV. BARDO No. 16
COL. STA. URSULA COAPA
DELEGACION COYOACAN

38.- SEPULVEDA DELGADO RICARDO
DIREC. GRAL. CONSTRUCCION OPERACION
JEFE UNIDAD DEPARTAMENTAL SIST. INFORMAC.
SAN ANTONIO ABAD No. 231-1er. PISO
COL. OBRERA DELEG. CUAUHEMOC 06800 MEX.

HELIODORO VALLE No. 340
COL. LORENZO BOTURINI
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA
15820 MEXICO, D.F. 552-59-90

39.- SORIANO LOPEZ EDUARDO
FONEI BANCO DE MEXICO
ANALISTA DE SISTEMAS
INSURGENTES SUR No. 1106-2o. PISO
COL. DEL VALLE
DELEGACION BENITO JUAREZ
559-82-66

REAL DE LOS REYES No.77-23 CEDROS
COL. REAL DE LOS REYES COYOACAN
DELEGACION COYOACAN

40.- SORIANO MANDUJANO EDUARDO
INSTITUTO MEXICANO DE COMERCIO EXTERIOR
PROGRAMADOR
ALFONSO REYES No. 30
COL. CONDESA
266-00-36

CTO. ACTORES No. 84
CD. SATELITE
53100 EDO. DE MEXICO
562-61-03

41.- SUAREZ NAJERA PEDRO
CIA. DE LUZ Y FZA. DEL CENTRO
INGENIERO
TLALOC No. 90-4o. PISO
COL. TLAXPANA
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
546-11-55

JARDIN HIDALGO No. 25-22
COL. AZCAPOTZALCO
DELEGACION AZCAPOTZALCO
02000 MEXICO, D.F.
561-50-44

42.- VALADEZ GARCIA JUAN
TESORERIA DEL D. F.
JEFE DE UNIDAD DEPARTAMENTAL
NIÑOS HEROES ESQ. DR. LICEAGA
3er.PISO DEPTO. SISTEMAS
588-11-67

ANDADOR 4 DE ALEJANDRO GARCIA No. 1
COL. EJERCITO DE ORIENTE
DELEGACION IZTACALCO
588-11-67

43.- VERDIN ROMERO JESUS
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
INGENIERO
MISSISSIPPI No. 502
COL. CUAUHEMOC
DELEGACION CUAUHEMOC
06500 MEXICO, D.F.
553-71-33 ext. 2520

RANCHO SECO No. 113
COL. SANTA CECILIA COAPA
DELEGACION COYOACAN
02430 MEXICO, D.F.
671-00-13

44.- VILLA MORALES LEOBARDO MARCOS
FES CUAUTITLAN
PROFESOR
CAMPO 4 CUAUTITLAN

QUINTO SOL No. 30 SEC. LOS PARQUES
COL. SEC. LOS PARQUES
54720 CUAUTITLAN IZCALLI
873-69-97

