

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" DEL 17 AL 28 DE ENERO DE 1983

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
1. MURICIO ALVAREZ MORA Paseo No. 127 Col. Prado Charubasco México, D. F. Tel: 5-82-51-47	FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM UNIDAD DE PLANEACION México, D. F.
2. LUIS ANTONIO ARZUBIDE ARZUBIDE Bulliano Espata 50 Int. 101 Delegación Cuauhtémoc C.F. 06060 México, D. F. Tel: 5-42-32-64	BANCO NACIONAL DE MEXICO (BANAMEX) Frey Servando Teresa de Mier No. 42 Delegación Cuauhtémoc C.F. 06060 México, D. F. Tel: 7-41-73-25
3. CARLOS MARCO NAVARRIN Nda San Nicolás Tolentino 21 Prado Chapala Tlalpan México, D. F. Tel: 6-71-84-27	ESCUELAS AMERICA BANAMEX, S.A. Av. Revolución 1508 San Arzapal Delegación Álvaro Obregón México, D. F. Tel: 5-50-99-99 Ext. 2678
4. RAYMUNDO BRITO SANDRES Nda No. 164-5 Col. Libertad Delegación Atzacotalco C.F. 07050 México, D. F. Tel: 5-41-43-04	CIA. DE LUX Y FERIA DEL CENTRO, S.A. Malchor Ocampo No. 171 Col. Anahuac México, D. F. Tel: 5-44-67-94
5. JERONIM CASTELLANOS FLORES	INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL Octava Calle 16409 Quatemala, Guatemala
6. RICARDO OSWALD VARELA Playa Calera No. 318 Col. Reforma Irrigado México, D. F.	CIA. DE LUX Y FERIA DEL CENTRO, S.A. Malchor Ocampo 171 Col. Anahuac México, D. F.
7. JOSE LUIS DANGLAN ADAM Av. Chapultepec 911-105 Col. Juárez C.F. 06400 México, D. F. Tel: 5-33-22-45 y 84	ECISA CONSTRUCCIONES, S. A. Av. Chapultepec 511-105 Col. Juárez C.F. 06400 México, D. F. Tel: 5-33-22-45
8. ROSENDO A. LÓPEZ ORTIZ Sur 77-A No. 314 Col. Eiretaco Del. Ixtapalapa México, D. F. Tel: 5-29-58-64	FACULTAD DE INGENIERIA UNIDAD DE PLANEACION, UNAM Ciudad Universitaria México, D. F. Tel: 5-50-52-15 Ext. 3707

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" DEL 17 AL 28 DE ENERO DE 1983

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
9. OSAR A. ORTIZ OLGA La. Priv. San Antonio No. 4 San Lorenzo Toluco Delegación Ixtapalapa C.F. 09900 México, D. F.	TECNOLOGIA NACIONAL Félix Cuevas 615-4to. Piso Col. del Valle Delegación Cuauhtémoc México, D. F. Tel: 5-34-24-61
10. PEDRO IGNACIO PEREZ ALCALAN Microcanalit Col. del Carmen Delegación Coahuacocan México, D. F.	INSTITUTO MEDICO DEL PETROLEO Eje Central Lazaro Cárdenas 152 Delegación G.A. Madro C.F. 07730 México, D. F. Tel: 5-87-72-16
11. RODRIGO ROSALES ORTEGA Ameyalco 23-B Col. del Valle Delegación B. Juárez C.F. 03100 México, D. F. Tel: 5-23-56-87	FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM Ciudad Universitaria México 20, D. F. Tel: 5-50-52-15 Ext. 3707
12. ANTONIO SALAS LUCIO Calle 7 de Miguel Alem No. 30 D. Vicente Guerrero México, D. F.	CONSULTORIA TECNICA, S. C. San Borja 526-11 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-59-82-88
13. FIDEL BERRANO LÓPEZ Ahuastlan No. 89 Lomas San Marcos Mexicalpan México, D. F. Tel: 5-40-9074	TECNOLOGIA NACIONAL, S. A. de C.V. Félix Cuevas No. 615 4to. Piso Col. del Valle Delegación Cuauhtémoc México, D. F. Tel: 5-34-24-61
14. RAYMUNDO ANTONIO DAVILA LIEBARRAGA Coahuacocan No. 312-7 Col. del Valle Delegación Cuauhtémoc México, D. F.	MORA Y CHOPEROS SUROS, S. A. Merzavillo 27 Col. Roma México, D. F. Tel: 5-64-93-00
15. JOSE A. VÁSQUEZ ORTIZEN Cuartero 132-204 Col. Cuartero Delegación Cuauhtémoc Col. Cuartero C.F. 06300 México, D. F. Tel: 5-92-32-96	CONSTRUCTORA Y PERFORADORA DEL VALLE, S. Tel: 5-59-96-44 México, D. F.
16. JOSE LUIS VILLAPUEDE CANAVE	

Directorio de Profesores del Curso FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA
DE SISTEMAS Enero 1983.

1. DR. JOSE DE JESUS MOSTA FLORES (Coordinador)
Subjefe del Area de Ingenieria de Sistemas
División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingenieria
U N A M
México, D.F.
550 52 15 Ext.4482
2. DR. PAUL CARVAJAL NORRHO
Investigador
IIMAS
UNAM
México, D.F.
550 52 15 Ext.4574
3. DR. JORGE DIAL PADILLA
Director General
Felipe Ochoa y Asociados, S.C.
Ricardo Castro No. 54-8° Piso
Col. Guadalupe Inn.
A. Oregón
México, D.F.
550 96 88
4. ING. JOSE ANTONIO ESTEVA MARABOTO
Director General
EIXCAL, S.A. de C.V.
P. de la Reforma No. 221-10° Piso
Col. Cuauhtémoc
México, D.F.
535 71 58
5. DR. SERGIO FUENTES MAZA
Coordinador de la Sección de Matemáticas
O E P F I
UNAM
México, D.F.
550 52 15 Ext.4492
6. M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON
Coordinador
Sección de Planeación del Area
de Ingenieria de Sistemas
O E P F I
U N A M
México, D.F.
7. M. EN I. GUSTAVO ROCHA BELTRAN
Coordinador de la Sección de
Investigación de Operaciones
Subjefatura de Ingenieria de Sistemas
O E P F I
UNAM
México, D.F.
548 97 93
8. DR. JAVIER MARQUEZ DIEZ-CANEDO
Gerente de Sistemas
Banco de México, S.A.
Condessa No. 5 4° Piso
Edificio Palacio Postal
Cuauhtémoc
México, D.F.
518 05 00 Ext. 215
9. M. EN I. ALBERTO MORENO BONETT
Asesor
Cia. Mexicana de Consultores en Ingenieria
Periférico Sur 1451-11° Piso
Col. San Jerónimo Lídice
10200 México, D.F.
595 70 33
10. DR. FELIPE OCHOA ROSSO
Presidente
Felipe Ochoa y Asociados, S.C.
Ricardo Castro No. 54-8° Piso
Col. Guadalupe Inn.
A. Oregón
México, D.F.
550 96 88
11. M. EN I. LEONARD RAPPOPORT YAMITE
Director de Inversiones Diversificadas
Grupo ICA
Entrada IV 1° Piso
Col. Escandón
Miguel Hidalgo
11800 México, D.F.
2712420
12. DR. OUSEL GERMAN MORAVALDE
Investigador
Coordinación de Sistemas
Instituto de Ingenieria
UNAM
México, D.F.
548 97 93

13. M. EN I. JORGE SILVA MIDENCES
Responsable de la Unidad de
Cómputo
D E P F I
UNAM
México,D.F.
550 52 15 Ext.4491
14. M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ
Profesor de Tiempo Completo
Sección de Sistemas
Subjefatura de Ingeniería de Sistemas
D E P F I
UNAM
México,D.F.
550 52 15 Ext.4486
15. M. EN C. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ
Jefe de la Oficina de Estudios Especiales
Dirección General de Aeropuertos
S C T
Chiapas No. 121-5° Piso
Col. Roma
B. Juárez
06700 México,D.F.
574 82 99
16. M. en I. Francisco Jauffred Mercado
Director General
Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Ingeniería de Sistemas
Av. Michoacán esq. Av. de las Torres
6917185

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

PROGRAMA DEL CURSO FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS
QUE SE IMPARTIRA DEL 17 al 26 de Enero de 1993. DE 198

FECHA	HORARIO	T E M A	P R O F E S O R
Enero 17	17 a 19 h	APLICACION DE LA CIENCIA DE LOS SISTEMAS EN LA ESTRUCTURACION DE PROBLEMAS DE PLANEACION.	Dr. Felipe Ochoa Rosso
	19 a 21 h	METODOLOGIA DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE SISTEMAS: ALGUNOS PROBLEMAS, RESULTADOS Y PERSPECTIVAS	Dr. Gural Calman Muravchik
Enero 18	17 a 21 h	Análisis de Decisiones con Objetivos en Conflicto	Dr. José J. Acosta Flores
Enero 19	17 a 21 h	Diagnóstico de Sistemas	Dr. José J. Acosta Flores
Enero 20	17 a 19 h	Evaluación de Sistemas	Dr. Jorge Díaz Padilla
	19 a 21 h	Control e Implantación de Sistemas	M. en I. Arturo Fuentes Zenón
Enero 21	17 a 19 h	Econometría	M. en I. Rubén Téllez Sánchez
	19 a 21 h	Técnicas de Optimización	Dr. Sergio Fuentes Mayá
Enero 24	17 a 19 h	Teoría de Inventarios	M. en I. Gustavo Rocha Baltrán
	19 a 21 h	Simulación Digital	M. en I. Jorge Silva Videncas
Enero 25	17 a 19 h	Aplicaciones Recientes de la Ing. de Sistemas	M. en I. Alberto Moreno Bonett
	19 a 21 h	Simulación del Metro de la Ciudad de México	M. en I. Leonard Rapoport Yovita
Enero 26	17 a 19 h	Implicaciones del Transporte en la Cda. de México	M. en C. Antonio Alvarado Domínguez
	19 a 21 h		Dr. Javier Márquez Díez-Canedo
Enero 27	17 a 19 h	Prospectiva y Planeación Tecnológica	Ing. José A. Esteva Haraboto
	19 a 21 h	La Crisis del Paradigma Sistémico y el Surgimiento de Nuevas Estructuras: Redes Sistémicas.	Dr. Raúl Cervajal Moreno

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

(1)

CURSO: Fundamentos y Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas.

FECHA: Del 17 al 28 de Enero de 1983.

	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. Felipe Ochoa Rosco				
2. Dr. Orsei Gelman Muravchik				
3. Dr. José J. Acosta Flores				
4. Dr. Jorge Díaz Padilla				
5. M. en I. Arturo Fuentes Zenón				
6. M. en I. Rubén Téllez Sánchez				
7. Dr. Sergio Fuentes Maya				
8. M. en I. Gustavo Rocha Beltrán				
9. M. en I. Jorge Silva Midence				
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10				

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

(1)

CURSO:

FECHA:

	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD
CONFERENCISTA				
1. M. en I. Alberto Moreno Benett				
2. M. en I. Leonard Rapoport Yawitz				
3. M. en C. Antonio Alvarado Dominguez				
4. Ing. JOSÉ A. Esteva Morabato				
5. Dr. Raúl Carvajal Moreno				
6. M. en C. Rodolfo Téllez Gutiérrez				
7. M. en I. Francisco Jauffred Mercado				
8.				
9.				
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10				

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

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
Aplicación de la Ciencia de los Sistemas en la Estructuración de Problemas de Planeación.				
Metodología de la Ciencia e Ingeniería de Sistemas: Algunos Problemas, Resultados y Perspectivas.				
Análisis de Decisiones con Objetivos en Conflicto.				
Diagnóstico de Sistemas.				
Evaluación de Sistemas				
Control e Implantación de Sistemas.				
Econometría				
Técnicas de Optimización				
Teoría de Inventarios				
Simulación Digital				
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10				

EVALUACION DEL CURSO

CONCEPTO		EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON EL CURSO	
4.	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 EN 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 DE VISION DE EDUCACION CONTINUA	PERIODICO NOVEDADES ANUNCIO TITULADO DE 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, MIÉRCOLES 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

OCTUBRE, 1982

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 lo resultante del grado con el que el individuo logra satisfacer sus necesidades físico-biológicas, intelectuales y recreacionales, mediante la adquisición y uso de satisfactores diversas 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 periodos 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.

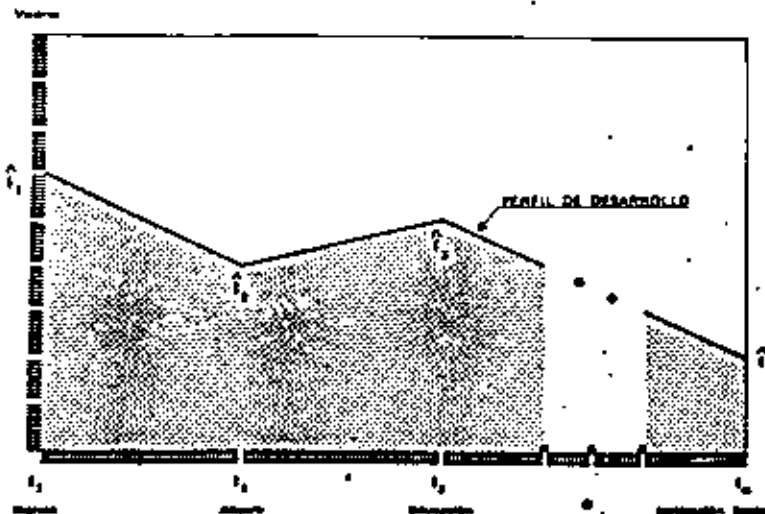


FIG. 1 PERFILES DE DESARROLLO INDIVIDUAL EN EL TIEMPO L

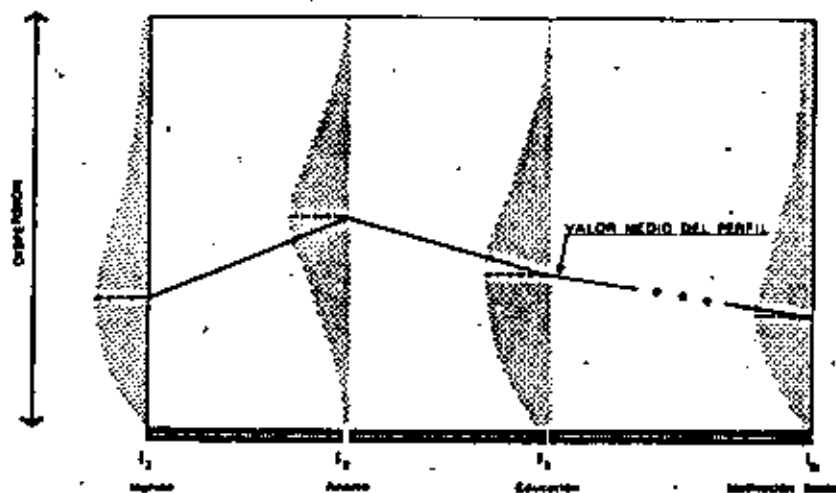


FIG. 2 PERFIL DE DESARROLLO DEL PAIS EN EL TIEMPO L

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 disminuya sustancialmente su dispersión, correspondiendo a una mejor distribución de la calidad de vida entre los individuos de la misma generación y de las generaciones subsiguientes.

Sin embargo, aun cuando el fenómeno anterior es comprobable en los países desarrollados, bajo 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 abata(r) el capital si acumularse éste, y encauzar 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 periodo $[t, t+1]$. 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 al 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 intuya 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, relacionándoles 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.

5

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.

Kooper [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.

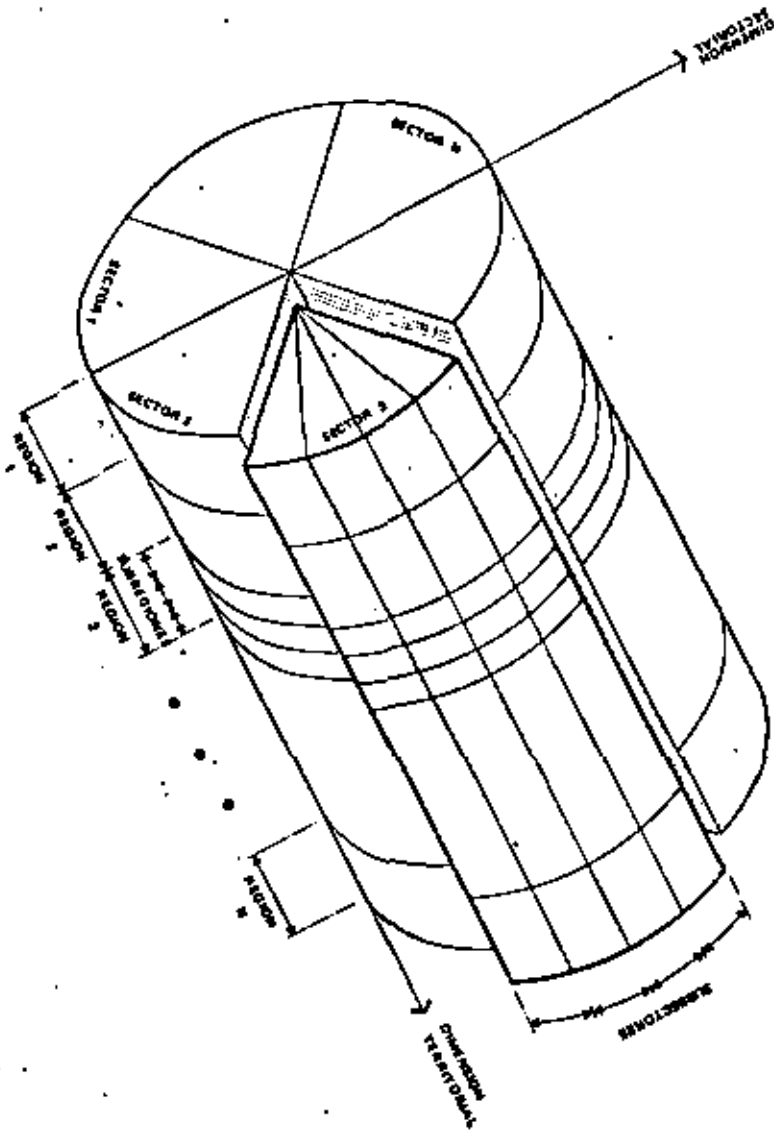
Por último, al desagregar simultáneamente bajo ambas dimensiones tendríamos el plan del sector *i*-ésimo en la región *j*-ésima, lo que equivale a la "rebanada" correspondiente del prisma regional. El proceso de partición al continuar, generaría planes sectoriales de una subregión, terminado en el plan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

2

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.

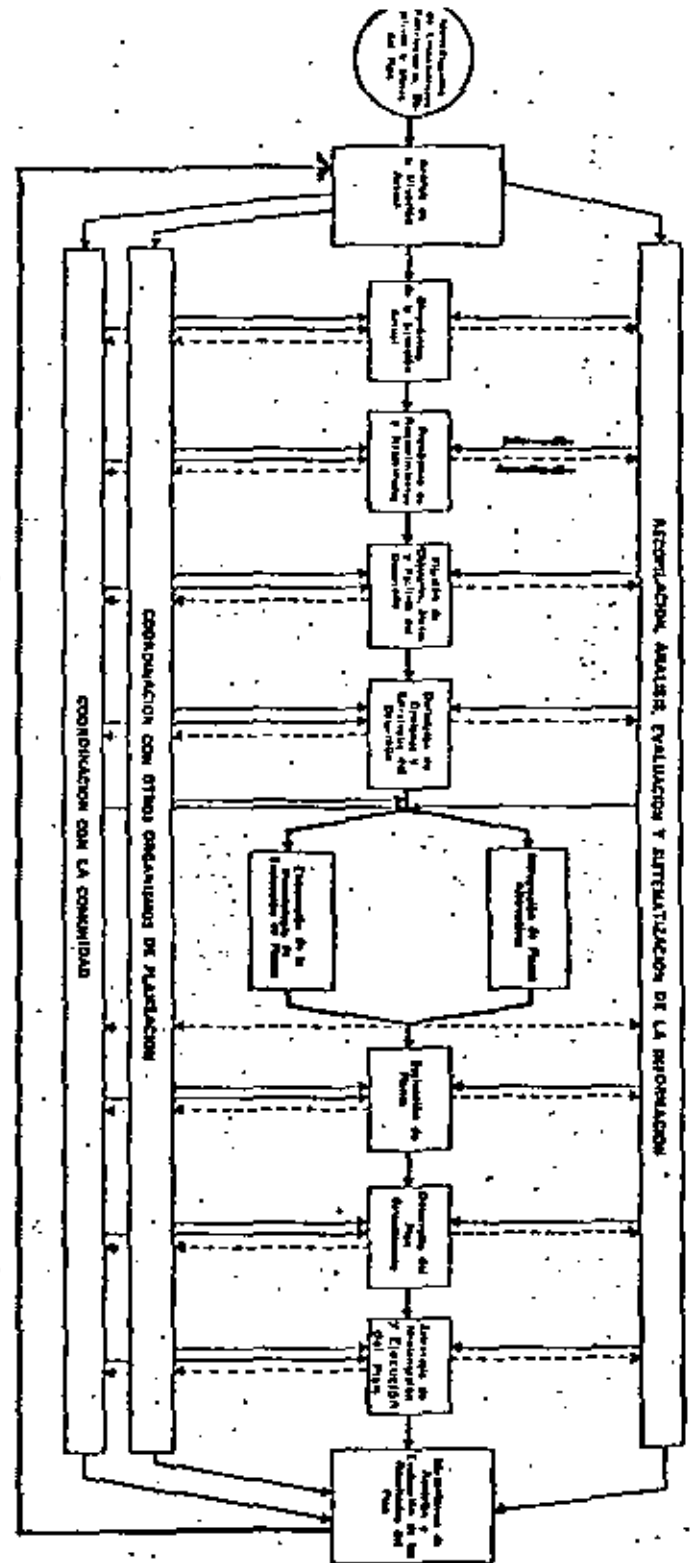
En ella destacan por una parte la linealidad del proceso y su flujo de retroalimentación, reflejando así su carácter dinámico y permanente y por otra, la interacción con la comunidad y otros organismos encargados de los variados aspectos de la planeación, a lo largo del proceso.

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.

(8)

FIG. 4 DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL PROCESO DE PLANEACION



Los métodos y algoritmos empleados de optimización y evaluación levitan 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 varíen 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.

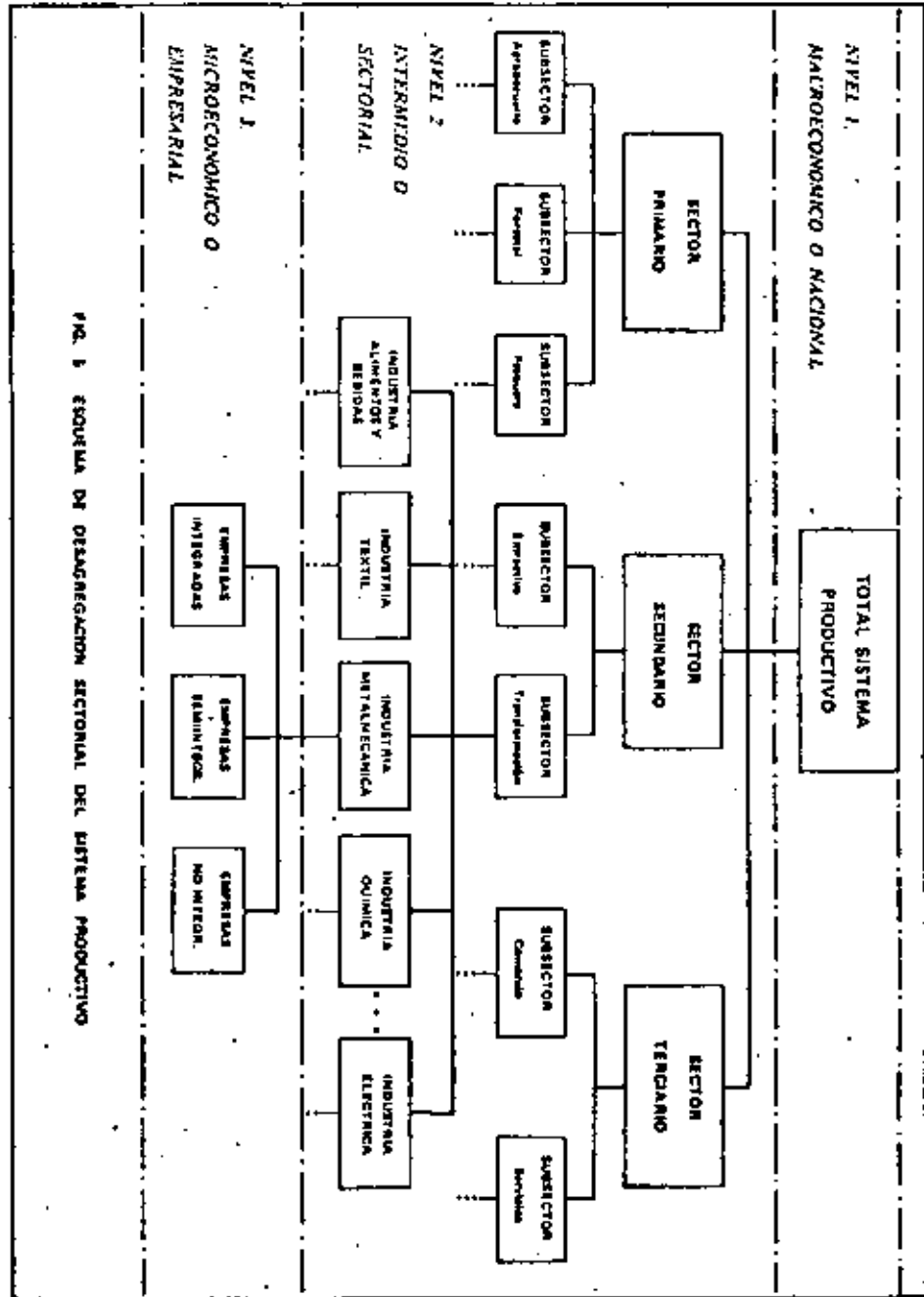
3.7 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO

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.



Se considera conveniente por tanto, para los países en desarrollo, el implementar una política de preparación de expertos generalistas, que puedan auxiliar eficientemente en los esfuerzos de planeación relacionados con distintos sectores y regiones del país.

1.9 CONCLUSION

Hemos establecido la conveniencia de impulsar el desarrollo mediante la planeación a todos los niveles de agregación de la actividad económica, auxiliándonos para ello de la metodología de la Ciencia de los Sistemas.

Al observar la estructura conceptual del proceso de planeación, ha sido posible distinguir un conjunto de principios generales, cuyo reconocimiento permite generar economías de escala, facilita a su vez el proceso de planeación para países en desarrollo y sugiere un mecanismo de preparación de recursos humanos congruente con la escasez de éstos en dichos países.

(11)

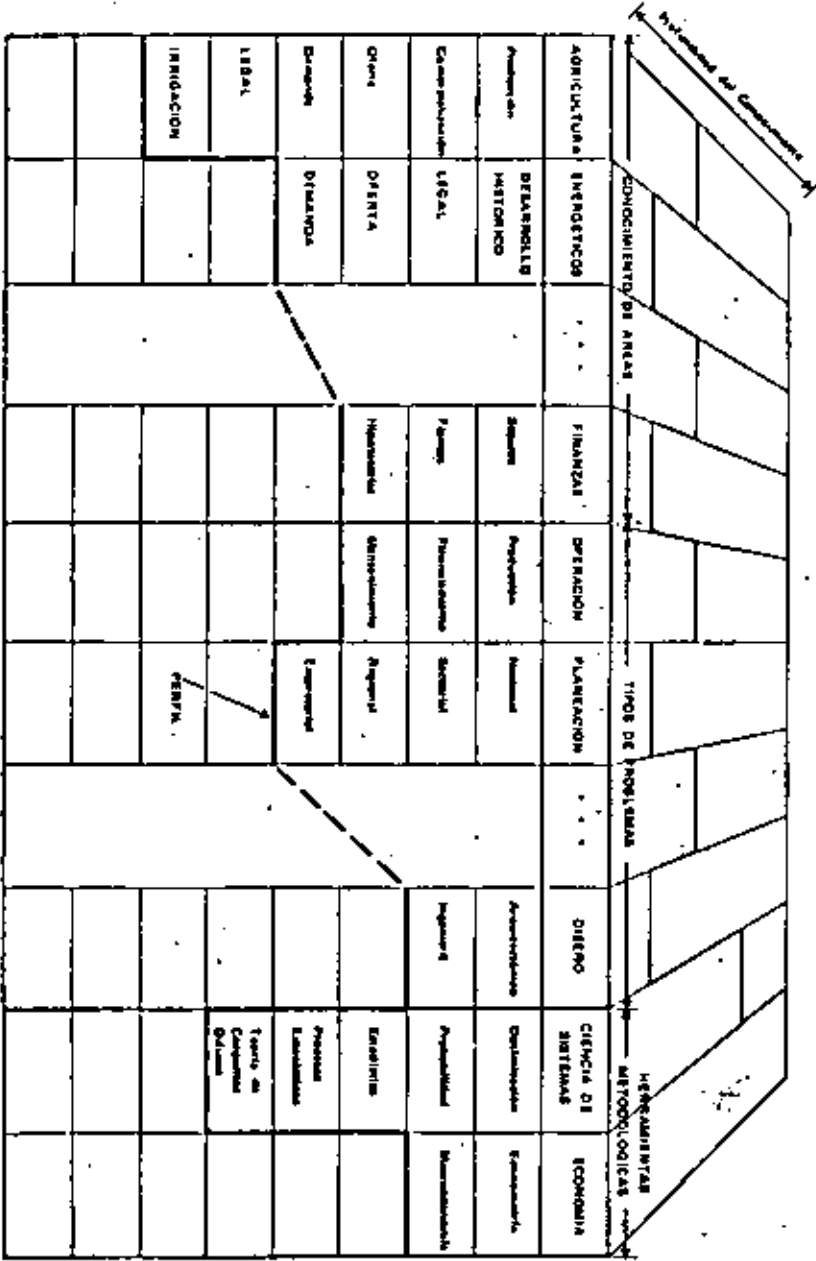


FIG. 8 PERFIL DE EXPERIENCIA/CONOCIMIENTO DEL EXPERTO

10

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 casística, 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 PLANEACIÓN

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.

12

REFERENCIAS

- [1] Ackoff, R.L., *National Development Planning Revisited*, J. Opns. Res. Soc. Am. 25, 207-218, 1977.
- [2] Hall, A.D., *A Methodology for Systems Engineering*, D. Van Nostrand, Co., 1962.
- [3] Koopman, B.O., *Intuition in Mathematical Operations Research*, J. Opns. Res. Soc. Am., 25, 189-206, 1977.
- [4] Massé, P., *El Plan o el Antiazar*, Editorial Labor, 1968.
- [5] Morse, P.M., *ORSA Twenty-Five Years later*, J. Opns. Res. Soc. Am., 25, 186-188, 1977.
- [6] Navarrete, I. M. de., *La Distribución del Ingreso en México, Tendencias y Perspectivas*, en El Perfil de México en 1980, Vol. I, Siglo XXI Editores, 1970.
- [7] Ochoa, F., *Metodología de la Ingeniería de Sistemas en la Integración de un Plan Maestro de Desarrollo Nacional*, II Congreso Interamericana de Sistemas e Informática, México, D.F., Nov. 1974.
- [8] Zadeh, L.A. et al., *Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes*, Academic Press, Inc., 1975.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

PAPEL DE LA PLANEACION EN EL PROCESO DE CONDUCCION

Dr. Ovsei Gelman
Gonzalo Negroe

OCTUBRE, 1982

PAPEL DE LA PLANEACION EN EL PROCESO DE CONDUCCION

Ovsei Gelman*
Gonzalo Negro**

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

2. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL USO DEL ENFOQUE SISTEMICO

Los organismos gubernamentales se conceptualizan a través del enfoque sistémico como sistemas conductores 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 conceptuar 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 conductor a tomar una decisión sobre determinadas situaciones; el conductor 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 conductor 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 garantizan; 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 conductor (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 conductor, 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, tómense 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; Graham 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 describe 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 objeto conducido, a través de la representación de la realidad, será sujeto de análisis mediante modelos construidos por un proceso de sustitución, dada su complejidad y razones económicas, sociales y humanas.

B. 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 constituya 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, Scott 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, Laurendchuck 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. Littauer S B, Yagulalp 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, Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge, Routledge and Kegan Paul, 1965

29. Rangel J L, Gleman 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

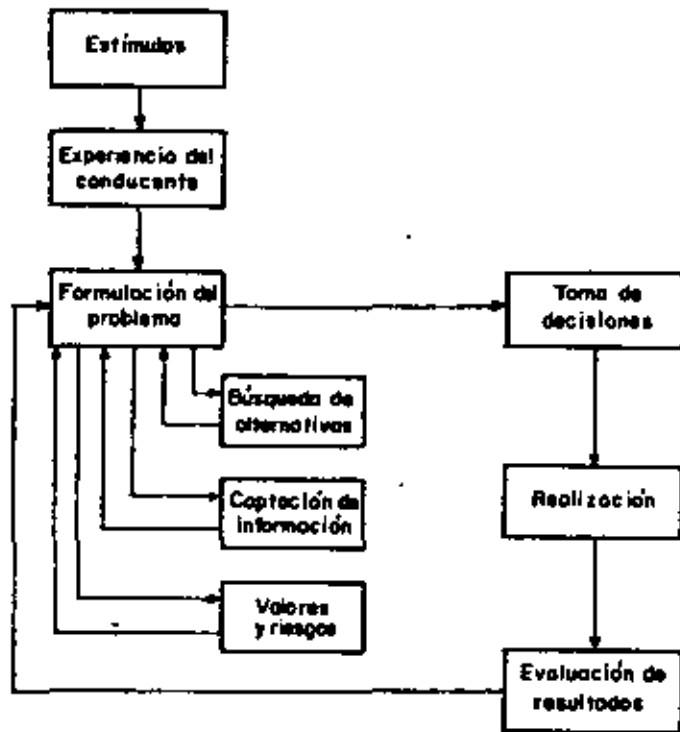


Fig 1. Proceso de toma de decisiones según Morris

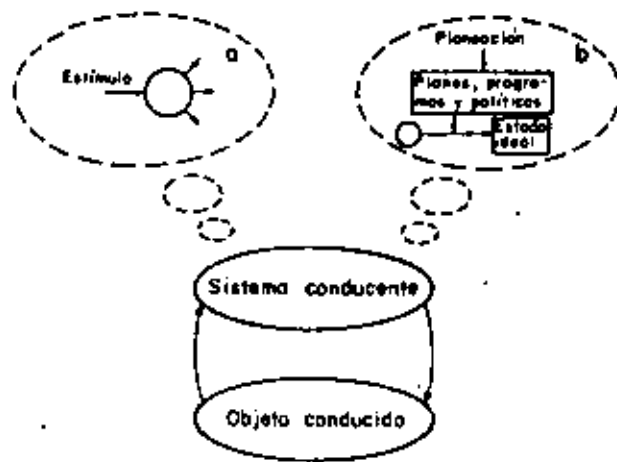


Fig 2. Paradigmas del proceso de conducción a) conducción correctiva, b) conducción planificada

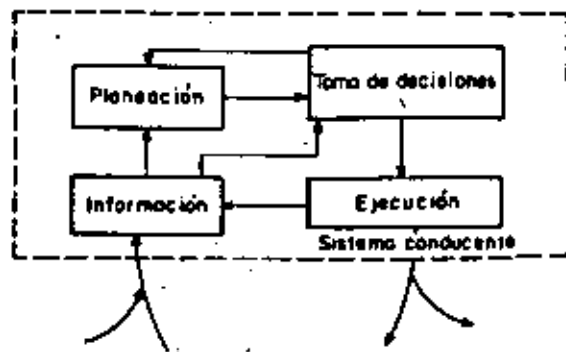


Fig 3. Representación funcional del sistema conducente



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

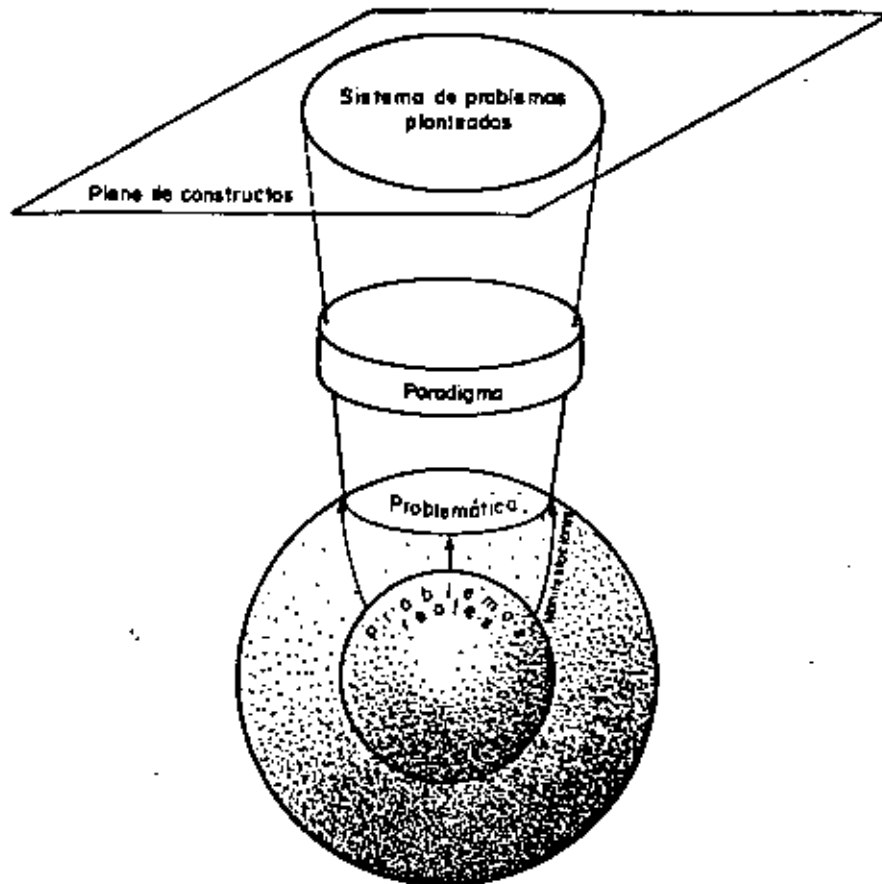


Fig 5. Esquema que permite visualizar el sistema de problemas reales y planteados

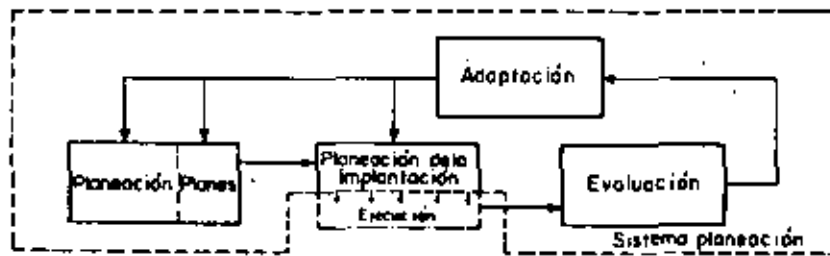


Fig 6 Estructura del proceso de planeación (primer paso)

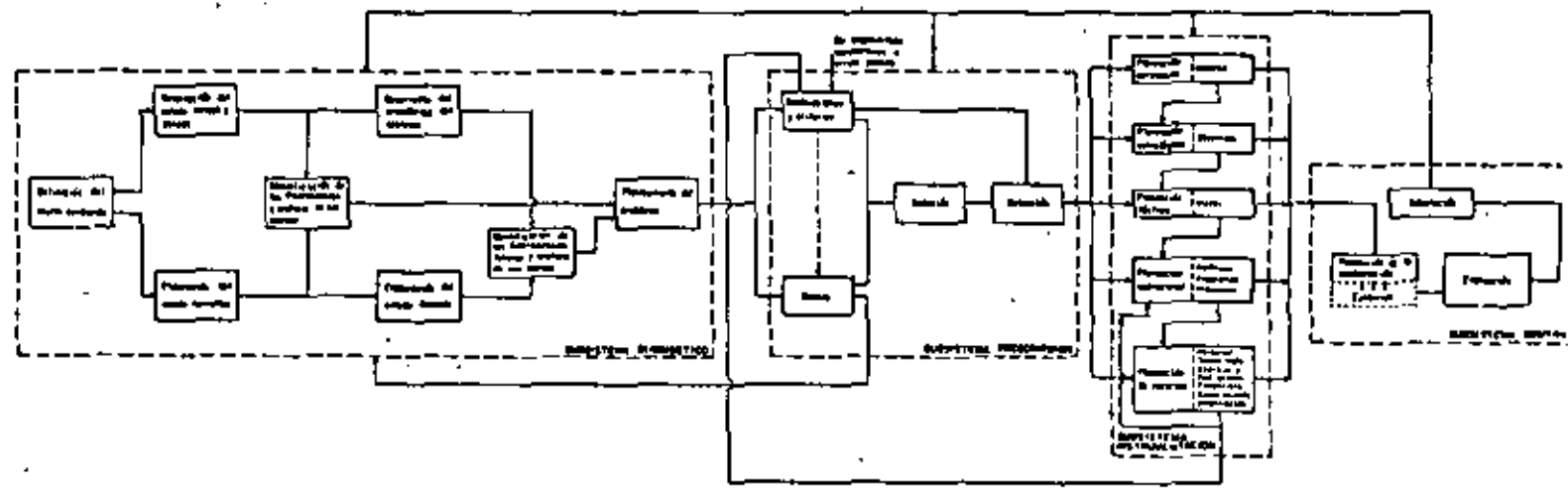


Fig 7. Esquema general del proceso de planeación

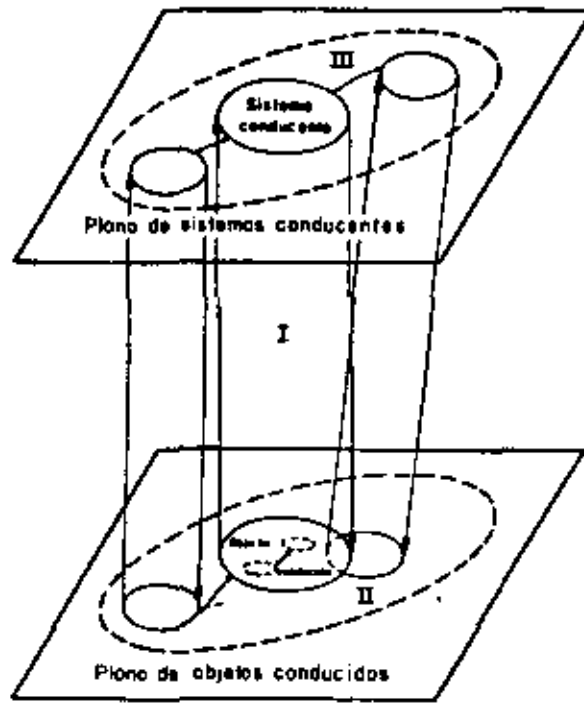


Fig 8. Paradigma para la identificación de tres clases de problemas



**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

OCTUBRE, 1982

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

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 cibernética 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 disminuido, 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 sujeto 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:

2

- * 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 como conjunto ordenado de proposiciones interconectadas (axiomas, hipótesis, postulados, leyes, etc), como resultado de:

la tendencia dominante a reducir los problemas metodológicos al nivel y 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 inconscientemente 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 el 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. Alcanzado así este sistema ciertos fines de actividad cognoscitiva dentro de un sistema mayor de conocimiento científico (fig. 8).

3

- * "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 objetivo (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 gnoseológicas-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, previsión 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 marco 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.
 - * 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.

4

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 en la TGS: 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.

- 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 deseables: Planificación estratégica
 - estudio de los posibles caminos 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 sistemas 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 computadores
- 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 "sistemas"
 - 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

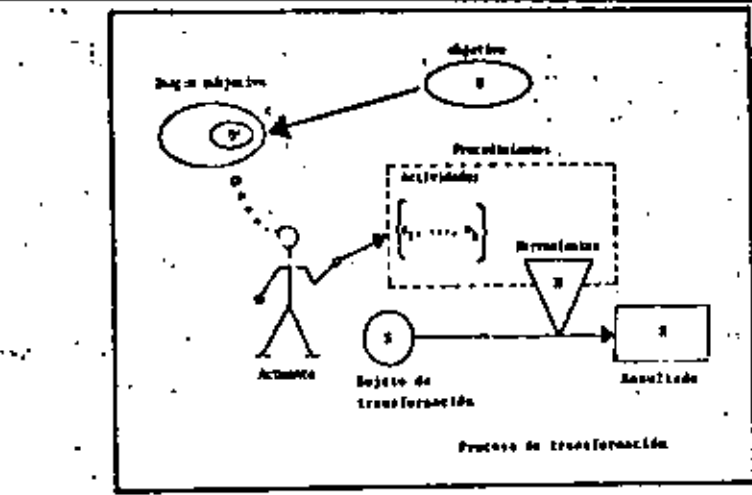


Fig. 1 Paradigma de la actividad humana (primera aproximación)

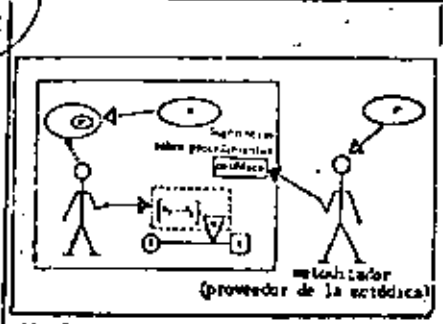


Fig. 2. Papel del metodólogo en el paradigma de la actividad humana

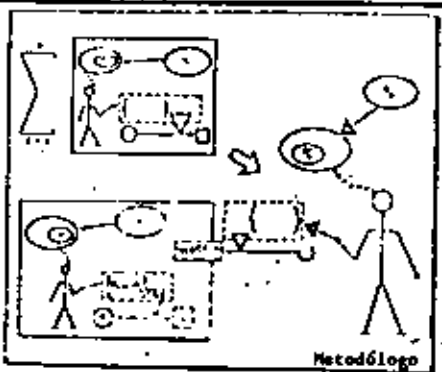


Fig. 3. Papel del metodólogo en el paradigma de la actividad humana

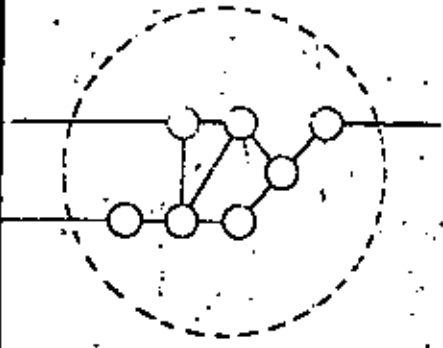


Fig. 4 Representación 'C' del sistema

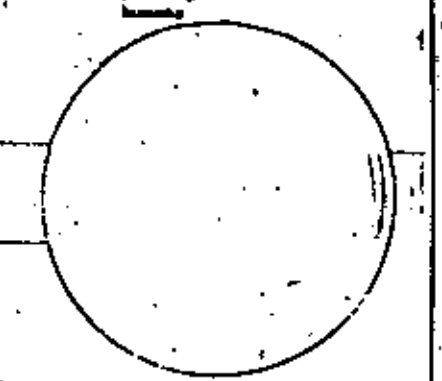


Fig. 5 Representación 'M' del sistema

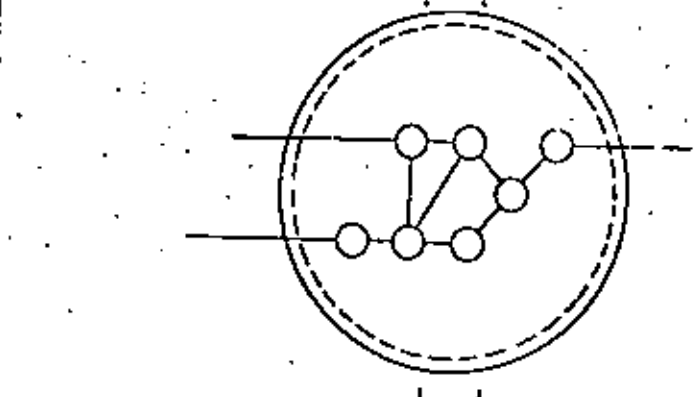


Fig. 6 Configuración de las representaciones complementarias del sistema

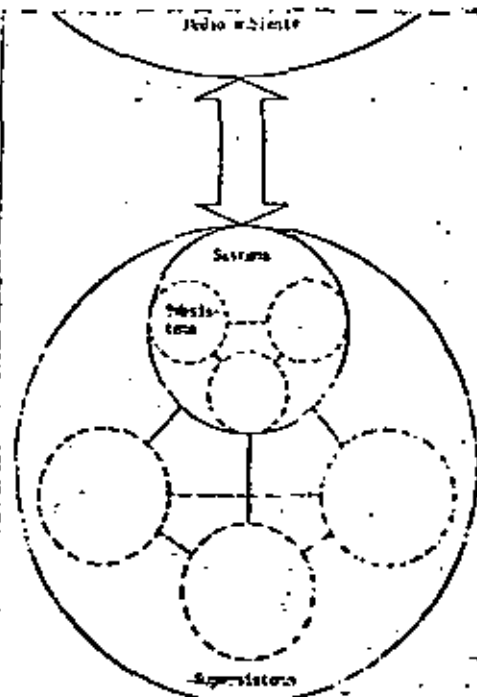


Fig 7 Paradigma de las relaciones entre subsistemas, sistemas, supervisión y medio ambiente

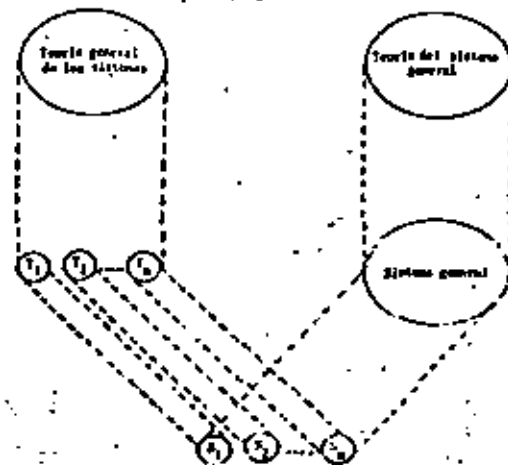


Fig 9 Paradigma para la construcción de los diferentes conceptos: teoría general de los sistemas y teoría del sistema general

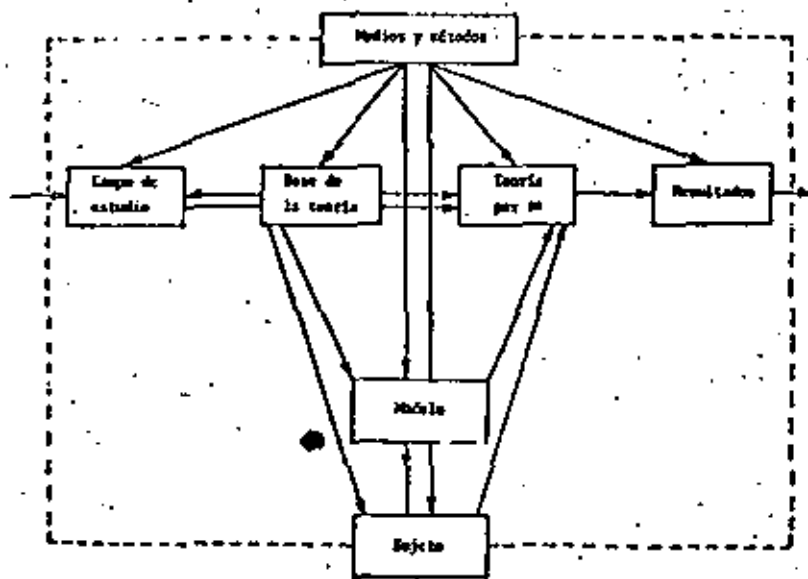


Fig 8 Diagrama de la estructura funcional de la teoría científica (primera aproximación)



**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
DECISIONES BAJO OBJETIVOS EN CONFLICTO

Dr. José Díaz Padilla

OCTUBRE, 1982

CONTENIDO

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.....	48

LA EVALUACION DE PROYECTOS URBANOS COMO UN PROBLEMA DE TOMA DE DECISIONES BAJO OBJETIVOS EN CONFLICTO

Ing. Sergio del Río Herrera¹
Dr. Jorge Díaz Padilla²

El proceso de evaluación en todo problema decisional, 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 jerarquización 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 SANOP, 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 plantea el problema de manejar la 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 exhaustivamente los centros con poblaciones entre 2 500 y 300 000 habitantes y posteriormente abarcar los restantes de manera gradual.

¹ Trabajo presentado por el autor ante el Comité de Estudio en Representación en la Comisión de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, Septiembre de 1981.

² Jefe de Proyecto, P.O.A. Operaciones

³ Director General, P.O.A. Operaciones

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, aplicadas a centros de población de tamaño reducido y donde la información es escasa y parcial.

Teniendo 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 cinco centros de población. Para esto se muestra el nivel actual de desarrollo socioeconómico (definido en base a 10 indicadores) de cada centro de población.

Además, 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 consideran como el mejor para el presupuesto disponible.

En el contexto de la planeación urbana, los objetivos involucrados se ordenan 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 sientos 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 habitantes", 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, el $J_1(P_1) = [I_1(P_1), I_2(P_1)]$ representa el vector de efectividad correspondiente al proyecto P_1 , puede observarse que la alternativa P_1 (cuya medida de efectividad asociada es $J_1(P_1)$) resulta ser más atractiva que la P_2 , 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 $J_1(P_1)$ domina a $J_1(P_2)$ o bien que el proyecto P_1 domina al proyecto P_2 .

Sin embargo, la comparación entre los proyectos P_1 y P_2 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 J (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 J representa una solución no factible, y por consiguiente, los puntos que definen la curva dominan el 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 , entre los 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_1 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_2 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_1 (ver Fig. 1).

En el caso general de n dimensiones (n objetivos), al mismo proyecto de desarrollo urbano P se le puede asociar n medidas de efectividad, $I_1(P), I_2(P), \dots, I_n(P)$.

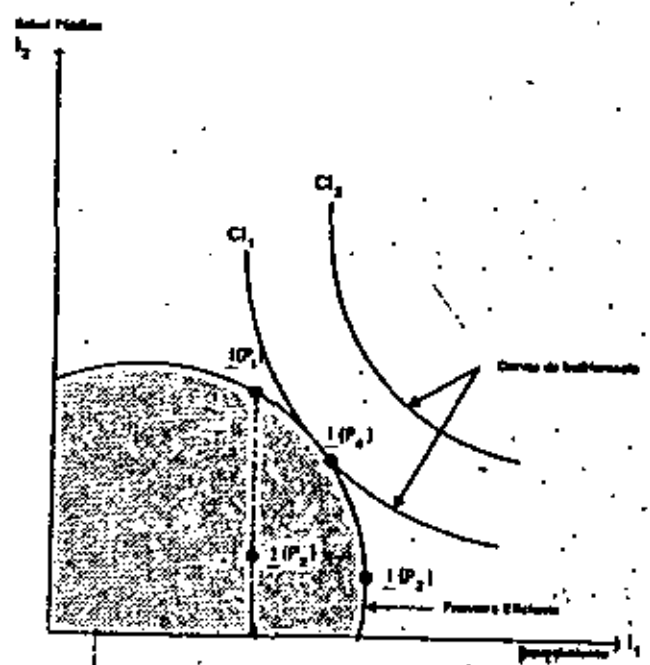


FIG. 1 REPRESENTACION DEL PROBLEMA DE OBJETIVOS MULTIPLES PARA EL CASO DE DOS ATRIBUTOS

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 es complejo aún más.

Sin embargo, para la solución práctica de este tipo de problemas, se han desarrollado varios métodos, los cuales refieren 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 migración 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 ($j=1,2,3$). En la Fig. 2 se muestran, de manera secuencial, 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 cuál es la mejor.

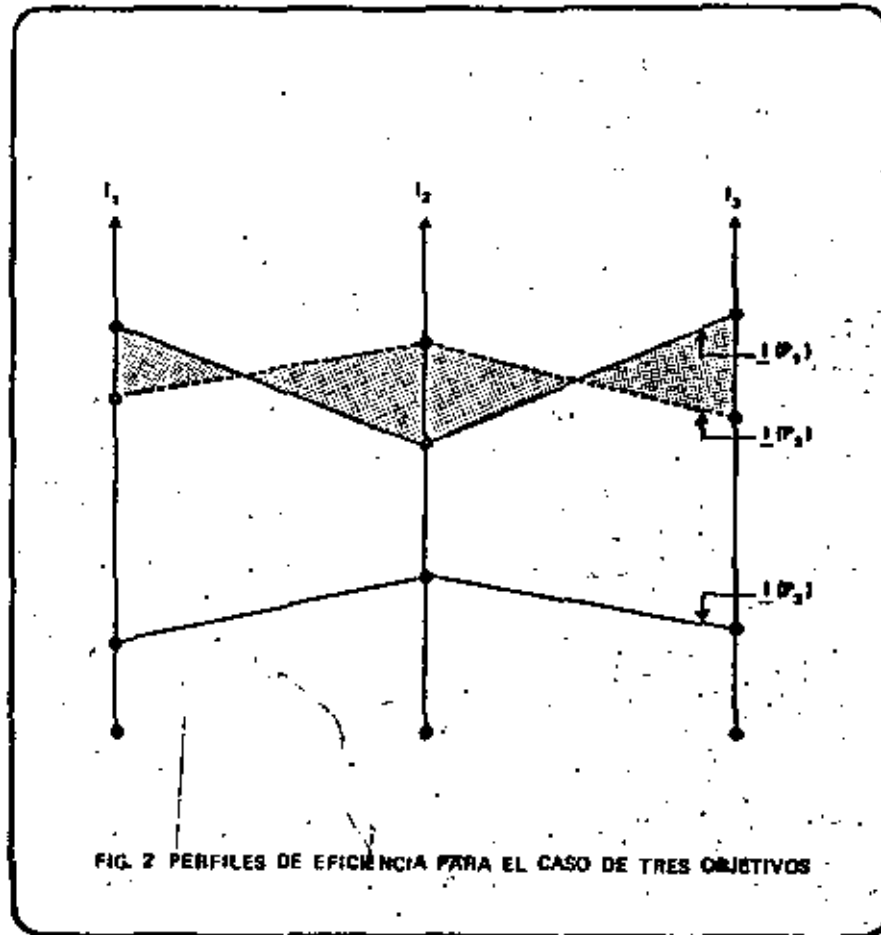


FIG. 2 PERFILES DE EFICIENCIA PARA EL CASO DE TRES OBJETIVOS

2.2 LA TEORÍA DE DECISIONES EN LA EVALUACIÓN 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 refleja su importancia relativa con respecto a los demás atributos.

Es decir:

$$V(I_i | P_i) = \sum_{j=1}^n \lambda_j V(I_j | P_i) \quad (2.1)$$

$$\text{y } \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (2.2)$$

donde n es el número de indicadores involucrados.

2.2.1 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 dos atributos son preferencialmente independientes, si los cambios sucesivos de un indicador I_j para "mantener" ciertos niveles en otro indicador I_k son independientes de los valores que pueden tomar los demás atributos.

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 $\{I = 0\%, I = 10\%\}$ a $\{I = 10\%, I = 40\%\}$, 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 OBTENCIÓN DEL VALOR DE LOS PARAMETROS λ_i .

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 los λ_i 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_i se pueden obtener resolviendo un sistema de ecuaciones lineales cuyas n incógnitas son los valores de las constantes λ_i . 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.

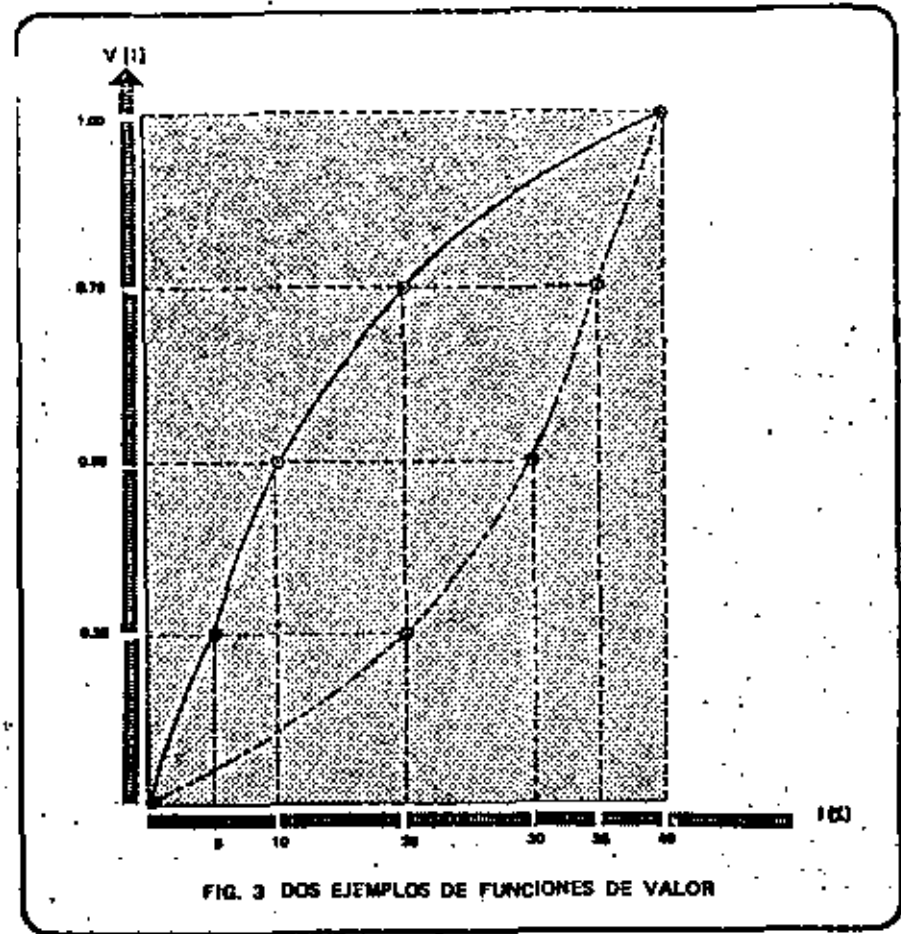


FIG. 3 DOS EJEMPLOS DE FUNCIONES DE VALOR

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:

$$\{ I_1 \text{ (mín)}, I_2 \text{ (max)}, I_3 \text{ (mín)}, I_4 \text{ (mín)} \}$$

$$\{ I_1 \text{ (mín)}, I_2 \text{ (mín)}, I_3 \text{ (-)}, I_4 \text{ (mín)} \}$$

donde I_1 (mín) e I_2 (max) representan los niveles de desarrollo menos favorable y más favorable del indicador I_3 respectivamente.

Como $V(I_1 \text{ (mín)}) = 0$ y $V(I_2 \text{ (max)}) = 1$ para cualquier atributo I_p , se tiene que la indiferencia entre los dos perfiles anteriores, se puede expresar de la siguiente manera (ver Ec. (2.1))

$$\lambda_2 = \lambda_3 V(I_3 \text{ (-)}) \tag{2.3}$$

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_p .

De manera similar se obtienen el resto de las ecuaciones, las cuales, junto con la restricción de que los λ_p 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.

2. 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 definir 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.

2.1 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 más detalles del concepto y estructura de la información resumida en el Sistema de Información de Operación Continua para el Desarrollo Urbano (SIOCU), Ver Anexo.

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 al valor del índice I_2 que hace al decisor indiferente entre los perfiles:

$$\{ I_1 \text{ (mín)}, I_2 \text{ (max)}, I_3 \text{ (mín)}, I_4 \text{ (mín)} \}$$

$$\{ I_1 \text{ (mín)}, I_2 \text{ (mín)}, I_3 \text{ (-)}, I_4 \text{ (mín)} \}$$

donde I_1 (mín) e I_2 (max) representan los niveles de desarrollo menos favorable y más favorable del indicador I_1 , respectivamente.

Como $V(I_1 \text{ (mín)}) = 0$ y $V(I_1 \text{ (max)}) = 1$ para cualquier atributo I_1 , se tiene que la indiferencia entre los dos perfiles anteriores, se puede expresar de la siguiente manera (ver Ec. (2.1))

$$\lambda_2 = \lambda_3 V(I_2 \text{ (-)}) \tag{2.3}$$

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 urbano³ 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 definir diversas políticas urbanas de desarrollo, se 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.

3. Para más detalles en cuanto al contenido y estructura de la información requerida en el Sistema de Información de Desarrollo Urbano SIGDAU, 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 SIDOU.

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 representa al 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 numeración de los proyectos debe estar limitada por los centros contemplados en la Tabla 2.

TABLA 1 INDICADORES DE DESARROLLO URBANO CONSIDERADOS EN LOS ANALISIS

NO.	CONCEPTO	INDICADOR
1	AGUA POTABLE	% de la población amena del servicio
2	DRENAJE	% de la población amena 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 construídos por cada 100 h.
7	RASTROS	Existencia y estado
8	PAVIMENTACION	% superficie del centro de población amena del servicio
9	MEDICOS	Número de habitantes por médicos
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 ₅	EA (a) _{5,1}	EA (a) _{5,2}	EA (a) _{5,3}	EA (a) _{5,4}	EA (a) _{5,5}	EA (a) _{5,6}	EA (a) _{5,7}	EA (a) _{5,8}	EA (a) _{5,9}	EA (a) _{5,10}

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):

$$V[EA(i,j)] = v(i,j)$$

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 ante los diferentes estados del atributo en cuestión.

- Un vector de coeficientes de ponderación de desarrollo económico:

$$R_1 = \{ \alpha_{1,1}, \alpha_{1,2}, \dots, \alpha_{1,10} \}$$

cuyos elementos expresan la importancia relativa de los atributos EA_{i,j} (j = 1, 10) con respecto al desarrollo económico del i-ésimo centro de población.

- Un vector de coeficientes de ponderación de desarrollo social:

$$R_2 = \{ \beta_{2,1}, \beta_{2,2}, \dots, \beta_{2,10} \}$$

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:

$$VDE(P_k) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{10} \alpha_{i,j} v(i,j)}{n} \tag{3.1}$$

1 La relación EA (i,j) se refiere a valores alfanuméricos que tomen el indicador EA_{i,j}.
 2 Con el objeto de transformar una escala de valores entre 0 y 1, los elementos de los vectores R₁ y R₂ deben cumplir las siguientes condiciones:
 $\sum_{j=1}^{10} \alpha_{i,j} = 1$ $\sum_{j=1}^{10} \beta_{i,j} = 1$
 3 La fórmula para calcularlos con el objeto de establecer una escala de valores entre 0 y 1.

2. El valor del nivel de desarrollo social generada 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 $VDE(P_k) = VDS(P_k) = 1$. 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 $VDS(P_k) = 0.3$, 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:

$$IE(P_k) = \frac{VDE(P_k) - VDE(P_0)}{1 - VDE(P_0)} \cdot C \quad (3.3)$$

$$IS(P_k) = \frac{VDS(P_k) - VDS(P_0)}{1 - VDS(P_0)} \cdot C \quad (3.4)$$

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.

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):

$$IEE(P_k) = \frac{IE(P_k)}{I(P_k)} \quad (3.5)$$

$$IES(P_k) = \frac{IS(P_k)}{I(P_k)} \quad (3.6)$$

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 coordenado $IEE(\cdot)$, $IES(\cdot)$ 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 $\{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5\}$ representa la frontera eficiente \underline{I} , 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 puedan obtenerse indicadores globales de eficiencia, aplicando una función de valor a cada punto $\underline{I}(P_k)$ en la curva \underline{I} .

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 sus coeficientes de importancia relativa ϕ_1 y ϕ_2 :

$$V(I(P_k)) = \phi_E V(IEE(P_k)) + \phi_S V(IES(P_k)) \quad (3.7)$$

donde:

$$V(IEE(P_k)) = \frac{IEE(P_k)}{\sum_{i=1}^n IEE(P_i)}$$

$$V(IES(P_k)) = \frac{IES(P_k)}{\sum_{i=1}^n IES(P_i)}$$

$$\text{y} \quad \phi_E + \phi_S = 1 \quad (3.8)$$

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 de 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 resulta 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.

12

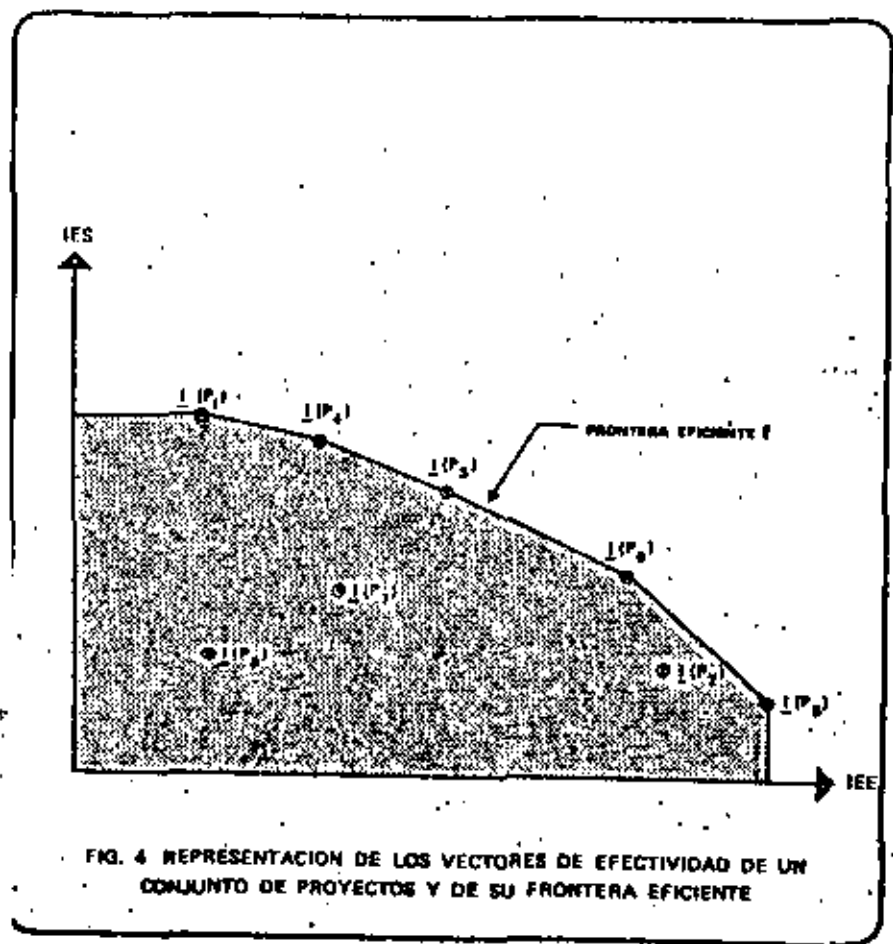


FIG. 4 REPRESENTACION DE LOS VECTORES DE EFECTIVIDAD DE UN CONJUNTO DE PROYECTOS Y DE SU FRONTERA EFICIENTE

FASE	INFORMACION REQUERIDA	OPERACION Y RESULTADOS
1. Análisis del Estado Actual de Desarrollo Urbano	EA (a _{1j}) : V (EA (a _{1j}))	v (a _{1j})
2. Evaluación del Nivel Actual de Desarrollo	a _{1j} : β _{1j}	VDE (P _{1j}), VDB (P _{1j})
3. Evaluación del nivel de Desarrollo generado por cada Proyecto P _k	EA (k) : v (k) I _{1j}	VDB (P _k)
4. Evaluación del Impacto Asociado con cada Proyecto		IIE (P _k), IIS (P _k)
5. Evaluación del Impacto por Inversión requerida para cada proyecto	C	IIE (P _k), IIS (P _k)
6. Evaluación de Proyectos por Objetivos Múltiples	φ ₁ , φ ₂	V II (P _k)
7. Presentación de Resultados		Lista de Proyectos por orden de Importancia

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 (agua potable en Candelas, ver Tabla 6) 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 6).

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	1 000 Haba.
2	Sanitarios	Paso Alto	200	800 Haba.
3	Escuelas	Santa Cecilia	250	250 Alun.
4	Agua Potable	La Botza	325	620 Haba.
5	Drenaje	San José de la Cal	700	2 000 Haba.

Centro de poblacion	INDICADORES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Candela	0.7	1.0	1.0	0.2	0.3	0.8	0.0	0.1	0.1	1.0
2 Las Mercedes	0.6	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	0.8	0.3	0.33	0.0	0.4	0.7	0.2	0.0
5 Paso Alto	0.8	0.8	0.25	0.6	0.33	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0
6 Agua Blanca	0.7	0.8	0.25	0.4	0.00	0.0	0.0	0.6	0.5	1.0
7 Sta. Josef de la Cai	0.4	0.6	0.6	0.4	0.33	0.0	0.0	0.6	1.0	1.0
8 Isla Aguada	0.8	0.7	0.8	0.8	0.67	0.4	0.7	0.4	0.5	1.0
9 Sacamento	0.9	0.8	0.8	0.8	0.87	0.3	0.7	0.4	0.2	1.0
10 Bajanilla	0.8	0.8	0.25	0.1	0.33	0.1	0.4	0.7	0.7	0.0
11 Laguna Azul	0.8	0.8	0.75	0.1	0.33	0.1	0.0	0.8	0.8	1.0
12 26 de Marzo	1.0	0.5	0.0	0.3	0.33	0.1	0.0	0.6	0.1	1.0
13 Fin de Aho	0.3	0.5	0.5	0.4	0.33	0.1	1.0	0.4	0.8	1.0
14 Channonon	0.1	0.5	0.25	0.8	0.33	0.1	0.7	0.8	0.8	1.0
15 La Bolina	0.3	0.5	0.25	0.9	0.33	0.1	0.7	0.8	0.7	1.0

TABLA 6. MATRIZ DE VALORES (PREFERENCIALES) DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO

VALOR	INDICADORES						
	3	4	5	6	7	8	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 e 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 e 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	Buena	1 - 500	SI

TABLA 7. FUNCIONES DE VALOR PARA LOS POSIBLES ESTADOS DE OTROS INDICADORES

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_{e_0}) y VDS (P_{s_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* ($\underline{\beta}_i$), se realizó en base a la explotación de la estructura de la información contenida en el SIOU, 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 $\underline{\beta}_i$ (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 ocupa 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 1 y 11, 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 (referencial) 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.

17

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 *impacte solamente el 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 (5% de población carece 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 6).

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.

1. La Tabla 11 muestra además valores correspondientes al nivel actual de desarrollo de cada centro de población, con los cuales se puede determinar el desarrollo global, y éstas últimas corresponden como un componente importante para la determinación de potenciales de desarrollo.

CENTRO DE POBLACION	PROBLEMAS SENTIDOS POR LA COMUNIDAD				
	1	2	3	4	5
1. DAVIDELAS	Drainaje	Servicio Electrico	Servicio Municipal	Agua Potable	Telefono
2. LAS MANOJITAS	Agua Potable	Servicio Electrico	Recoleccion de Basura	Salud Primaria	Luz para estudiar
3. SANTA CRISTINA	Agua	Medicinas	Agua	Agua Potable	Telefono
4. SAN JONAS	Servicio Electrico	Luz, Depuradora	Agua Potable	Medicinas	Medicinas
5. PABO ALTO	Salud Primaria	Agua Potable	Medicinas	Recoleccion de Basura	Agua de refrigeracion
6. AGUA BONITA	Luz en las escuelas	Telefono	Depuradora de agua	Agua de lluvia	Salud Primaria
7. SAN JONAS DE LA CAL	Agua Potable	Agua	Salud Primaria	Medicinas	Salud Primaria
8. ISLA AGUADA	Servicio Electrico	Agua	Medicinas	Agua Potable	Salud Primaria
9. ROTAVIENTO	Recoleccion de Basura	Medicinas	Medicinas	Medicinas	Drainaje
10. BALAMITA	Medicinas	Drainaje	Salud Primaria	Drainaje	Medicinas
11. LA VIGANA ABUL	Servicio Electrico	Depuradora de agua	Drainaje de agua	Agua Potable	Medicinas
12. SAN DE MARCO	Telefono	Medicinas	Luz en las escuelas	Medicinas	Medicinas
13. SAN DE MARCO	Agua Potable	Medicinas	Medicinas	Medicinas	Medicinas
14. CHALCOTON	Agua Potable	Medicinas	Drainaje	Medicinas	Medicinas
15. LA BOLITA	Medicinas	Agua Potable	Medicinas	Medicinas	Medicinas

13. A. Muestra que la escasez de agua, la falta de "servicio de recolección de basuras" por la comunidad.

TABLA I. PRIORIDAD DE LOS PROBLEMAS SENTIDOS POR LA COMUNIDAD

INDICADOR		Coeficiente de Ponderación
Número	CONCEPTO	
1	Agua Potable	0.204
2	Drainaje	0.130
3	Acceso por Carreteras Pavimentada	0.130
4	Educación Primaria	0.118
5	Líneas de Autobuses que tocan la localidad	0.102
6	Mercados	0.089
7	Restros	0.078
8	Pavimentación	0.068
9	Médicos	0.051
10	Correos	0.020

TABLA B. COEFICIENTES DE PONDERACION ECONOMICA DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO

CENTRO DE POBLACION	Desarrollo por Localidad	
	Economico	Social
1. Candelas	0.57478	0.6281
2. Las Margaritas	0.47084	0.5190
3. Santa Cecilia	0.51476	0.3708
4. San Jorge	0.42658	0.3952
5. Paso Alto	0.44168	0.3942
6. Agua Bonita	0.41830	0.0780
7. San José de la Cal	0.44978	0.4082
8. Isla Aguada	0.62724	0.6280
9. Sotavento	0.62644	0.3850
10. Pajamita	0.44748	0.2562
11. Laguna Azul	0.53658	0.4137
12. 26 de Marzo	0.44926	0.1268
13. Fin de Año	0.46216	0.3062
14. Champoton	0.39278	0.2477
15. La Bolita	0.57588	0.4346
VALOR GLOBAL DE DESARROLLO	0.49519	0.3670
POTENCIAL DE IMPACTO	0.60481	0.6330

TABLA 11. ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO SOCIOECONOMICO DE LAS LOCALIDADES CONSIDERADAS

CENTRO DE POBLACION	INDICADORES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Candelas	0.21	0.32	0.00	0.08	0.07	0.00	0.11	0.10	0.10	0.00
2 Las Margaritas	0.34	0.00	0.08	0.17	0.00	0.80	0.90	0.26	0.00	0.00
3 Santa Cecilia	0.18	0.00	0.00	0.09	0.06	0.28	0.39	0.00	0.00	0.00
4 San Jorge	0.33	0.00	0.00	0.06	0.05	0.18	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	0.06	0.28	0.00	0.20	0.00
8 Isla Aguada	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.06	0.29	0.00
9 Sotavento	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.26	0.21	0.00
10 Pajamita	0.00	0.18	0.04	0.24	0.04	0.05	0.03	0.00	0.12	0.30
11 Laguna Azul	0.46	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	0.05	0.00	0.26	0.00	0.00
14 Champoton	0.41	0.28	0.10	0.00	0.09	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 Número	CONCEPTO	CENTRO DE POBLACION	INDICADOR AFECTADO	ESTADO DEL INDICADOR ¹	VALOR PREFERENCIAL ¹
1	Agua Potable	LA BOLITA	§ población carente del servicio	25	0.8
2	Agua Potable	LAS MARGARITAS	§ población carente del servicio	48.8	0.7
3	Drainaje	BUENOS DE LA CAL	§ población carente del servicio	26.1	0.8
4	Médicos	PAJON ALTO	número de habitantes por médico	1 320	0.7
5	Escuelas	SANTA CECILIA	§ población de 7-14 años que asiste a la escuela	82.8	0.8

¹ Datos de 1970.

TABLA 12. IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE LOS PROYECTOS CONSIDERADOS

4.5 FASE 6. EVALUACION POR OBJETIVOS MÚLTIPLES.

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. 6.

En dicha figura, cada proyecto (P_k) está representado por su vector de efectividad correspondiente:

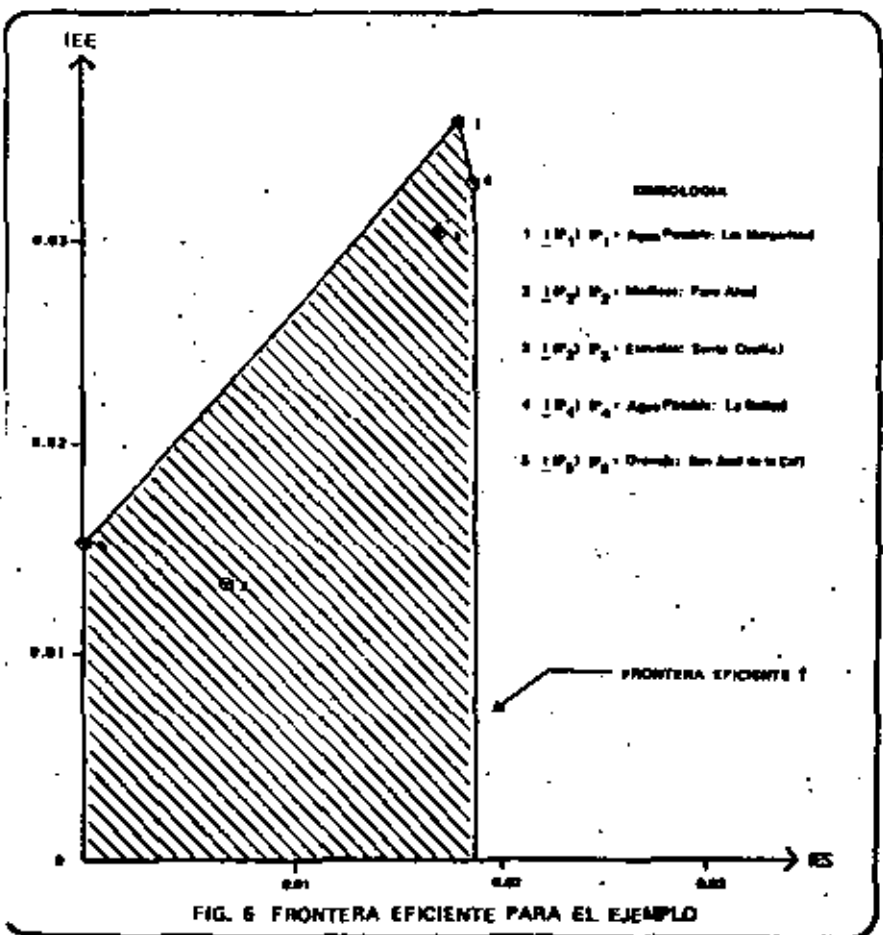
$$\underline{I}(P_k) = [IES(P_k), IEE(P_k)]$$

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 pesos 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 $\underline{I}(P_k)$ una función del valor $V [\underline{I}(P_k)]$, 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 .



PROYECTO	INVERSION (Millas de pesos)	VDE	VDS	IE	IS	IEI	ISI
0. NO INVERSION	0	0.48819	0.3870	0	0	0	0
1. AGUA POTABLE: La Balsa	325	0.80086	0.3712	108	88	0.0332	0.0003
2. AGUA POTABLE: La Margarita	300	0.80086	0.3707	108	88	0.0380	0.0183
3. DRENAJE: San José de la Cañ	750	0.50112	0.3870	117	0	0.0158	0
4. MEDICOS: Paso Alto	200	0.48855	0.3881	27	17	0.0135	0.0005
5. ESCUELAS: Santa Cecilia	290	0.48806	0.3700	77	47	0.0300	0.0188

La tabla que precede es correspondiente a la Tabla 12.

VDE = Valor en Dineros Reales
 VDS = Valor en Dineros Reales
 IE = Ingresos
 IS = Ingresos
 IEI = Ingresos
 ISI = Ingresos

TABLA 12. 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 P_2 tenderá a ocupar un lugar prioritario en el conjunto de proyectos.

A medida que el aspecto económico cobra mayor importancia, el proyecto P_1 ocupará el primer lugar de la lista, seguido del proyecto P_2 . Por otra parte, se observa que el proyecto P_3 tiende a ocupar el mismo lugar relativo, sin importar el peso asignado a los diferentes aspectos de desarrollo.

98

Proy.	IEE (Pi)	IES (Pi)	V(IEI)	V(IES)	V(IE (Pi)) 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	.0050	.0180	.279	.289	.289	.289	.287	.286	.285	.284	.283	.282	.281	.280	.279
P_2	.0125	.0085	.104	.127	.127	.125	.122	.120	.118	.116	.113	.111	.109	.108	.104
P_3	.0008	.0189	.239	.291	.291	.277	.273	.273	.284	.280	.284	.292	.287	.282	.279
P_4	.2032	.0200	.297	.203	.203	.209	.204	.209	.205	.200	.205	.211	.208	.202	.207
P_5	.0156	0	.121	0	0	.012	.024	.028	.046	.061	.073	.089	.107	.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 sí), en base a un conjunto de datos sencillos, contenidos en el SIODU (sistema de información concebido y desarrollado por la Dirección General de Centros de Población dependiente de la SANOP).

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 exhaustiva 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.

En 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 el 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	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	[Barra horizontal con patrón de puntos]										
2	[Barra horizontal con patrón de puntos]										
3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Elaboración: SI Propiedad, SI, dependiente de primer lugar por: Dg. 100, 11, 12, 13 y 14
 P1 = AGUA POTABLE, LA BOLITA
 P2 = AGUA POTABLE, LA MARIANITA
 P3 = OMBREAR, SAN JOSE DE LA OSA
 P4 = MEDIDAS, BARRIO ALTO
 P5 = ESCUELA, SANTA BECILLA

TABLA 16. JERARQUIZACION DE LOS PROYECTOS PARA DIFERENTES POLITICAS DE DESARROLLO

C O N T E N I D O

	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.....	45



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

PERSPECTIVA Y PLANEACION TECNOLOGICA

Ing. José Antonio Esteva Maraboto

OCTUBRE, 1982

PROSPECTIVA Y PLANEACION TECNOLÓGICA

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 son 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. Irremediamente, nuestras acciones y nuestras decisiones tienen un efecto 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 ocurrir 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 contrar 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 entenderse:

- 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 trata.
- 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 acta 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 ocurre 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 deberán 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. Afirmando más adelante que es posible realizar estas tareas, proponer cambios cualitativos, prever discontinuidades.

Pero 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.

2

- 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 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 PLANEACIÓN TECNOLÓGICA

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 frágil 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 hayen de utilizarla, integrar y organizar la capacidad de actuarla.

- 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 técnicas y prácticas de sus programas y la elección de las mejores combinaciones beneficio-coste.
- 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 costes, etc.

Además 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, costes 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 SELECCIÓN 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 desarrollar finalmente en satisfactorias adecuaciones. Es decir, la tecnología de los países desarrollados suele ser una respuesta a las necesidades identificadas.

Cuando 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 ESTRATÉGICAS

Una vez definidos los problemas la planeación tecnológica busca soluciones pertinentes. Aunque hemos afirmado que algunas de las desarrolladas en otras partes pueden 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.

4

- Usar tecnologías avanzadas o "apropiadas".
- Definir las escalas de producción.
- Orientarse a problemas o a mercados.

Quando 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 conformaremos 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.

PRONOSTICO 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 desprendiendo 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 delphos e impactos cruzados.

La técnica delphos 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 estas 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 consideran 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

TEORIA DE DECISIONES

M. en I. Arturo Fuentes Zenón

OCTUBRE, 1982

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.

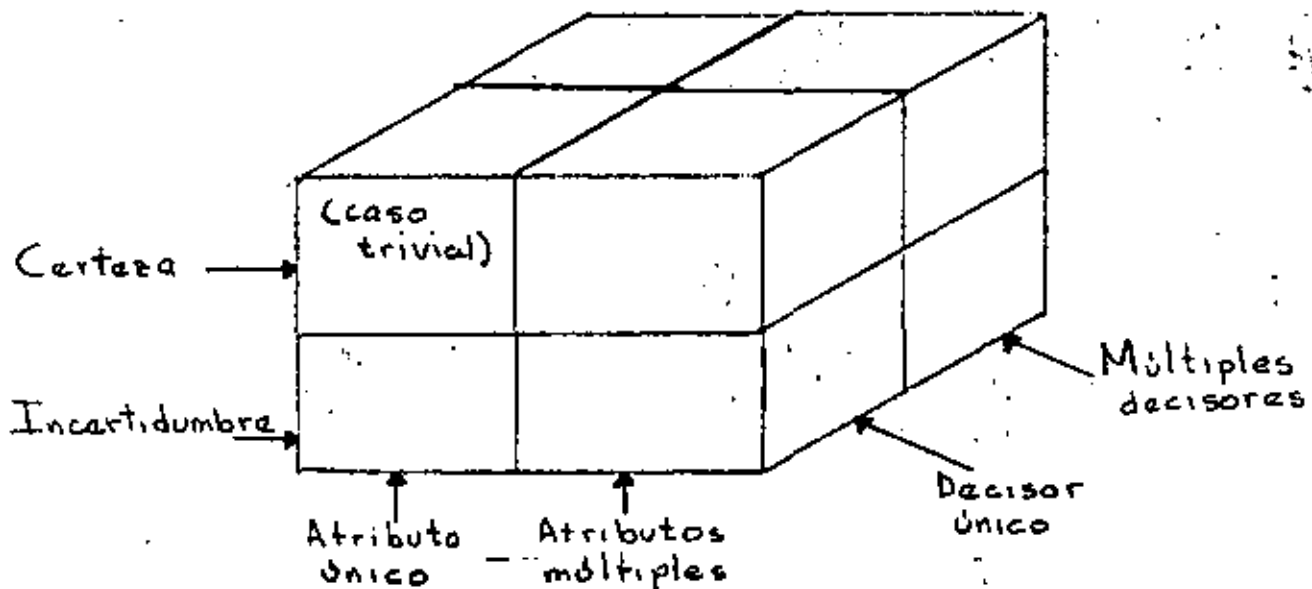
El espíritu de la teoría de decisiones está en dividir para conquistar, es decir descomponer un problema complejo en subproblemas, los que serán más simples.

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.

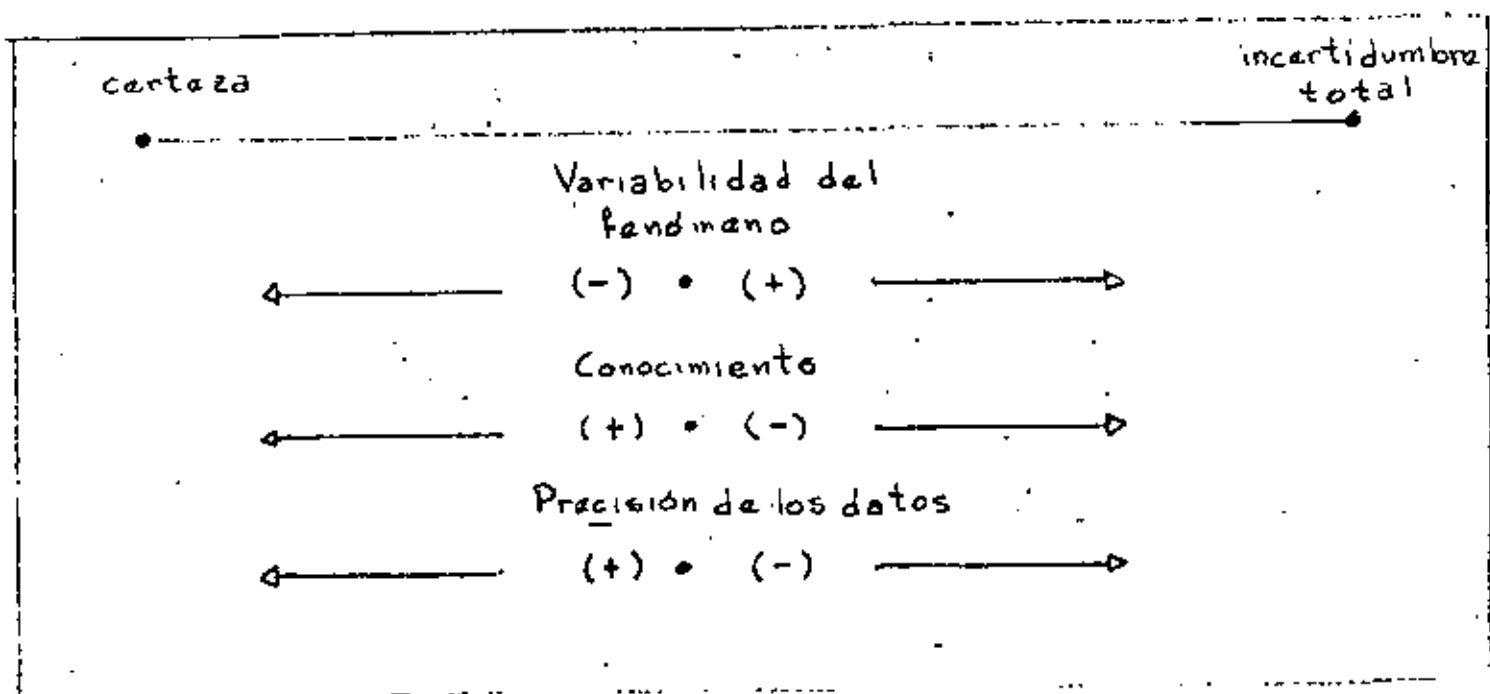
Comentaremos a continuación las tres dicotomías que se indican.

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).

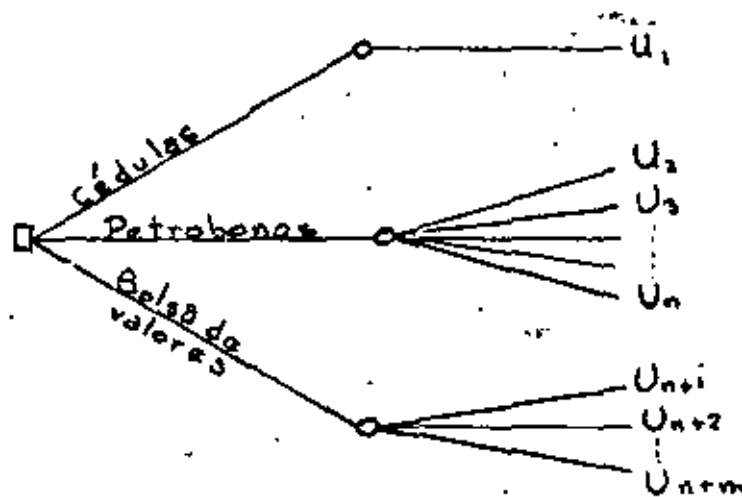


ATRIBUTO UNICO O ATRIBUTOS MULTIPLES.

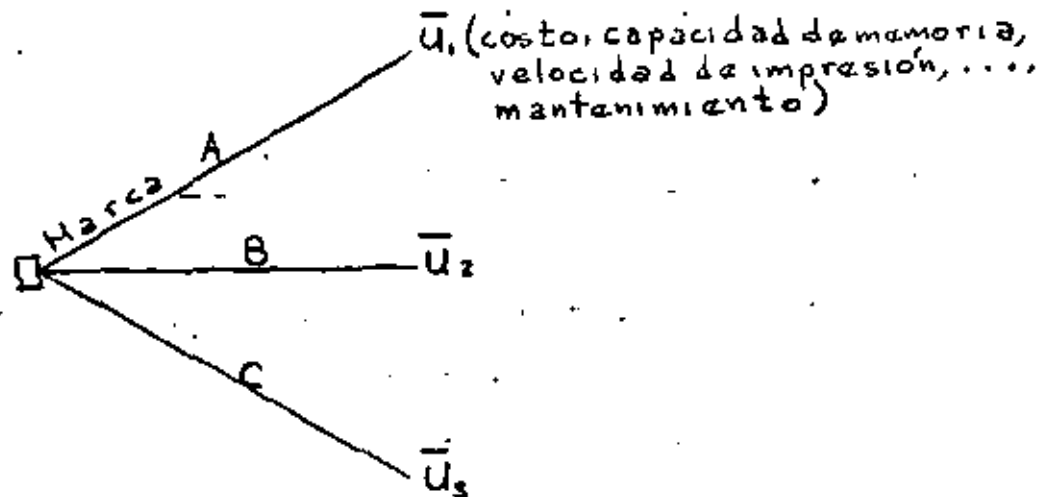
Se refiere a si es posible describir completamente las consecuencias en términos de un solo atributo (por ejemplo: utilidad o número de visitas) o por el contrario las consecuencias se establecen en términos de atributos múltiples.

Ejemplo 1.

Un problema de inversión donde el atributo será la utilidad.



Ejemplo 2. Adquirir una minicomputadora.



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. Considérese 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 árbol 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.

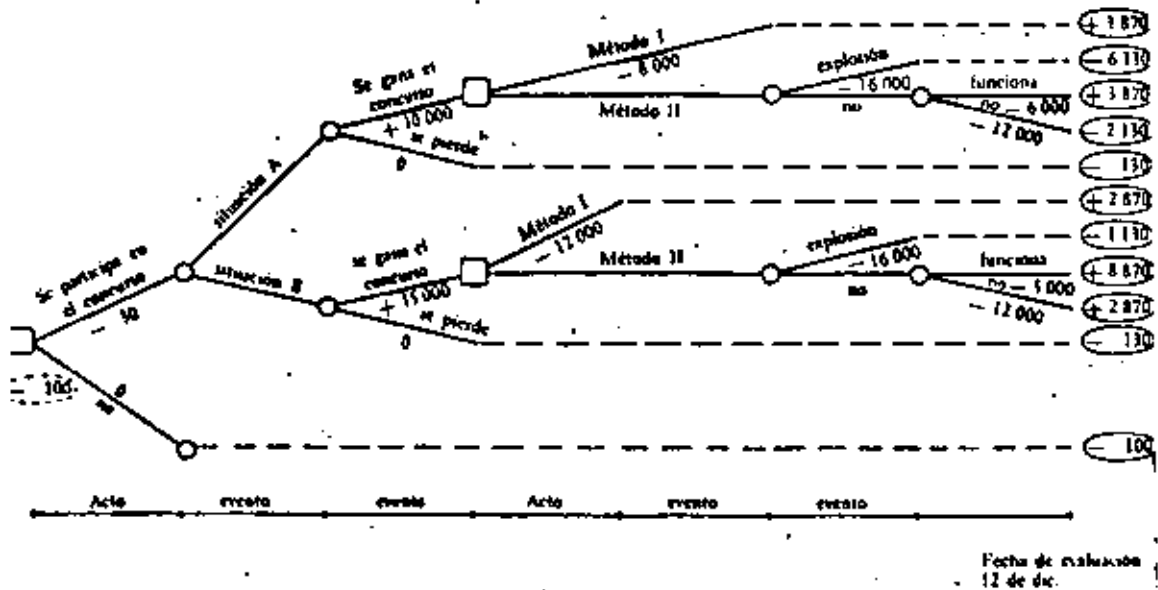
EJEMPLOS:

Problema de participación en un concurso

La Cfa. Jette 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.

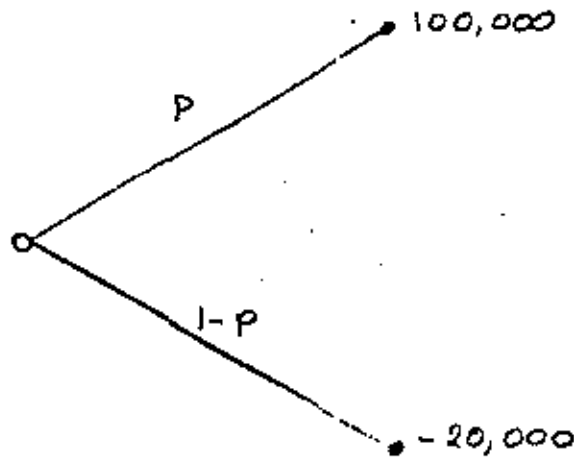


Problema de inundación y deslizamiento de tierra

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.

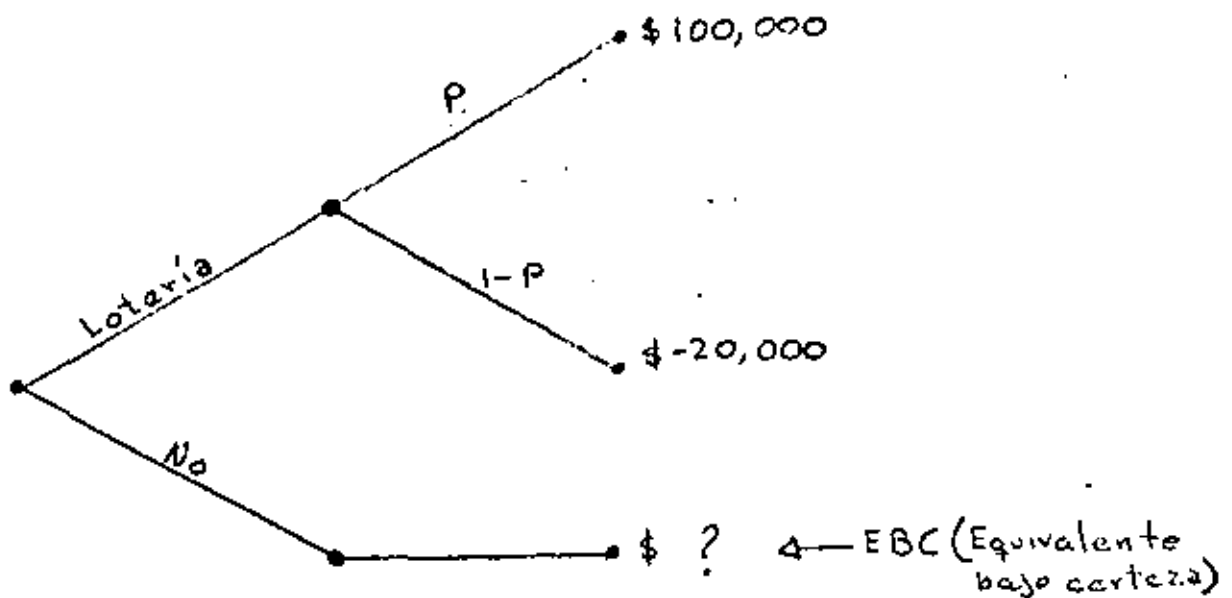
El Sr. Garza, presidente municipal de Villa H., puede mandar construir un bordo que protegerá la Cd. pero que aumentará la posibilidad de un deslizamiento al desviar el agua. Si hay inundación, él ha decidido llamar expertos para conocer su opinión. Esta opinión puede ser más acertada si se efectúa una 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.



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

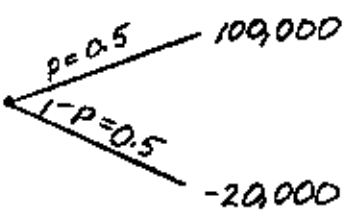
¿Cuál es la cantidad de dinero para la que a usted le es indiferente participar en la lotería o recibir con certeza esa cantidad de dinero?



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

Para los valores anteriores de p no hay ningún problema, ¿pero si $p = 0.57$ no es tan inmediata la respuesta.

Auxiliémos al decisor mediante el siguiente procedimiento.

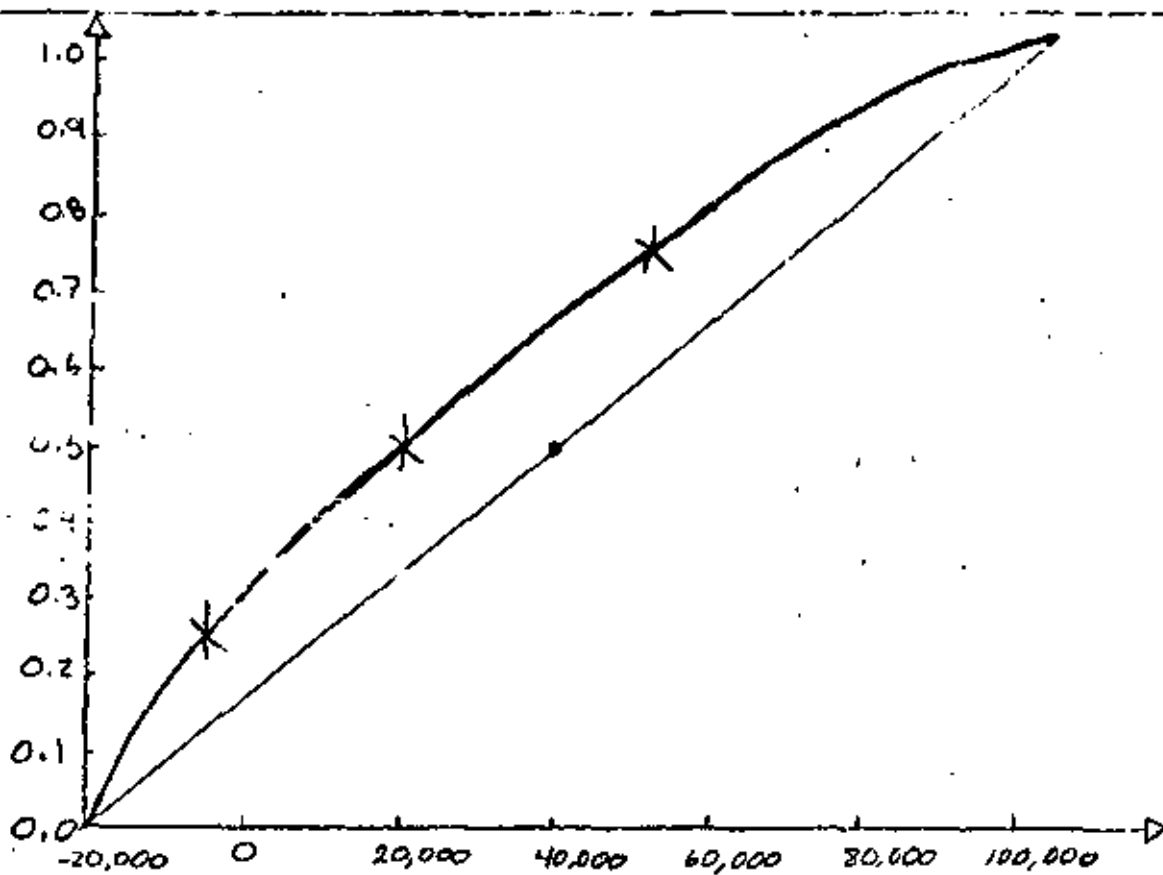
L O T E R I A	Le ofrecen bajo certeza	El decisor prefiere
	100,000	La cantidad
	80,000	La cantidad
	20,000	Le da lo mismo
	- - - - -	La lotería
	- 15,000	La lotería
	- 20,000	La lotería

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

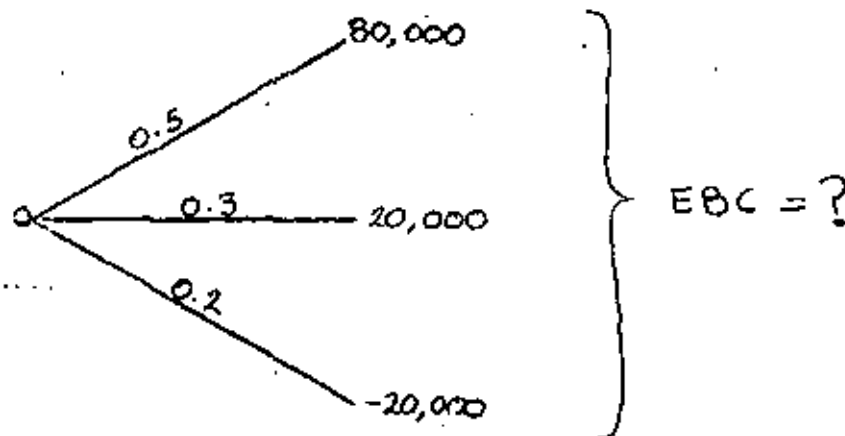
De igual manera para $p=0.75$, $EBC = 50,000$.

3.2 Curva de preferencias.

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

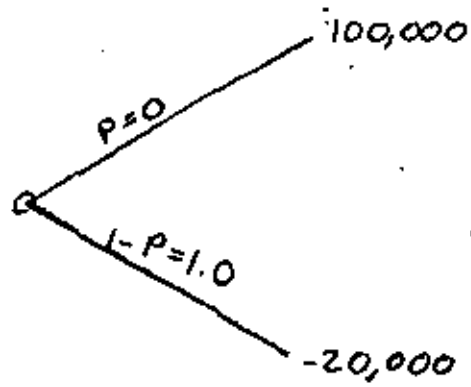


Con esta curva podemos determinar el EBC de la siguiente lotería:

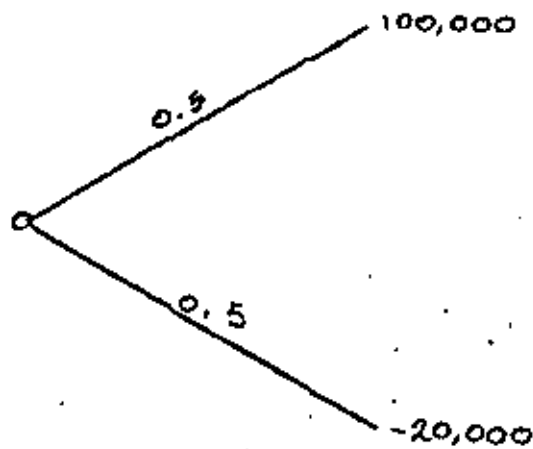


Hagámoslo de la siguiente manera:

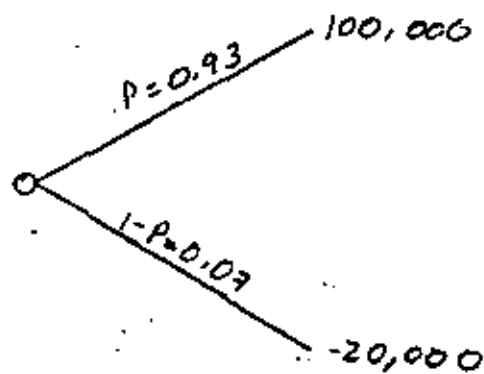
De acuerdo con nuestros datos $-20,000$ es el EBC de la lotería



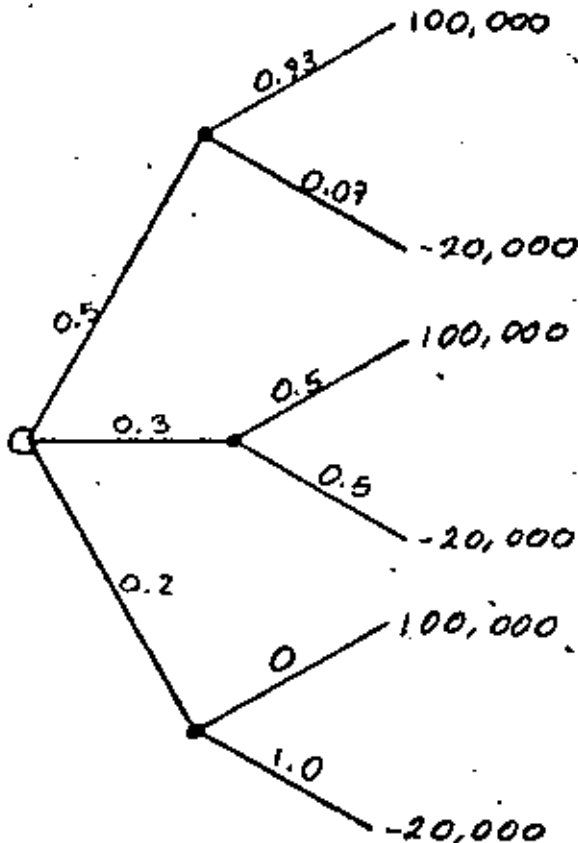
y 20,000 es el EBC cuando $p=0.5$



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



Con estos datos construyamos el árbol.



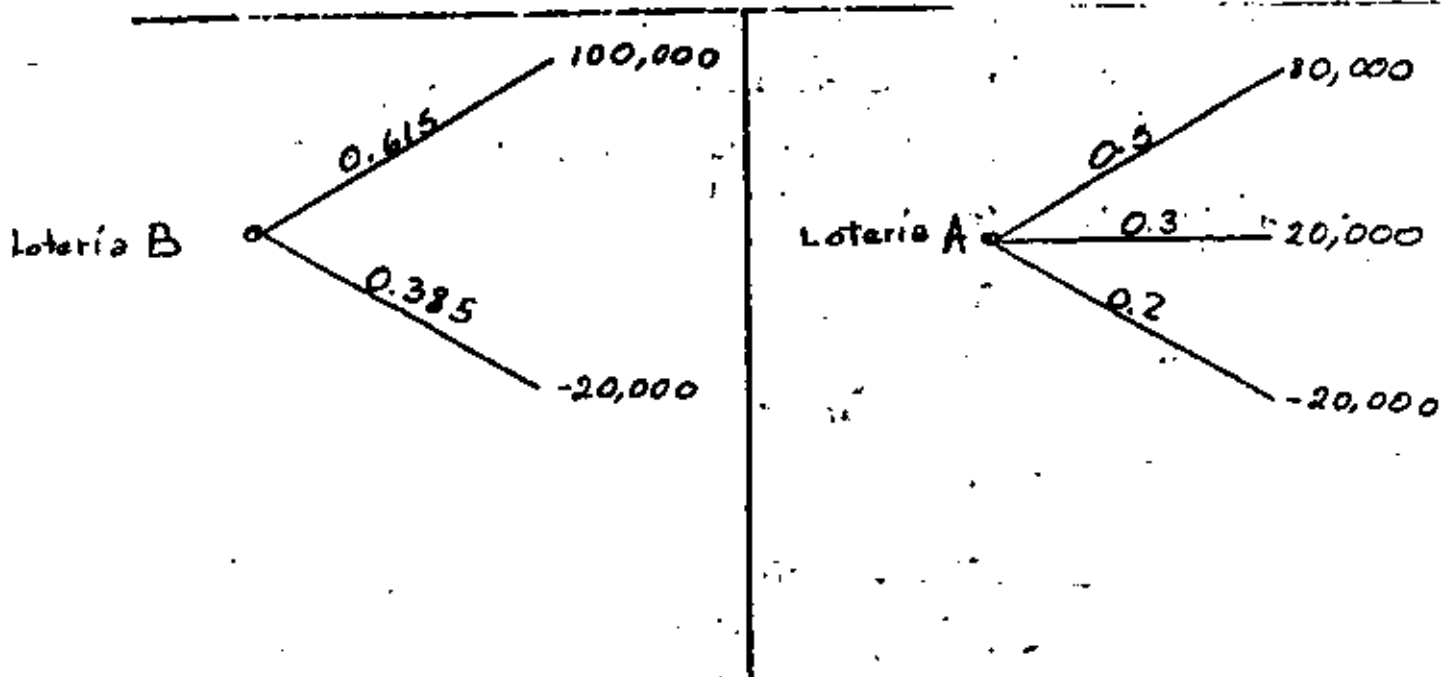
La probabilidad de que el valor terminal sea de 100,000 es

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

y la de obtener -20,000 es

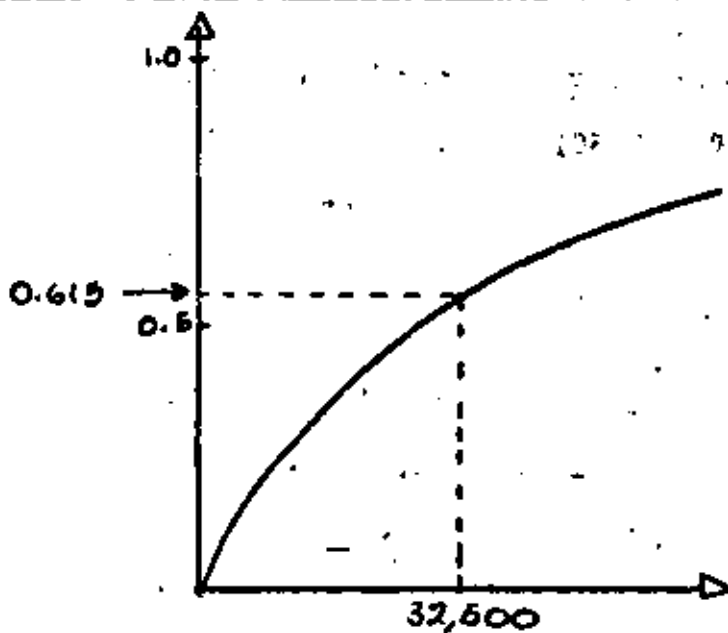
$$\begin{aligned} 0.50 \times 0.07 &= 0.035 \\ + 0.30 \times 0.50 &= 0.150 \\ + 0.20 \times 1.00 &= \underline{0.200} \\ &0.385 \end{aligned}$$

de acuerdo con lo anterior



las loterías A y B son equivalentes.

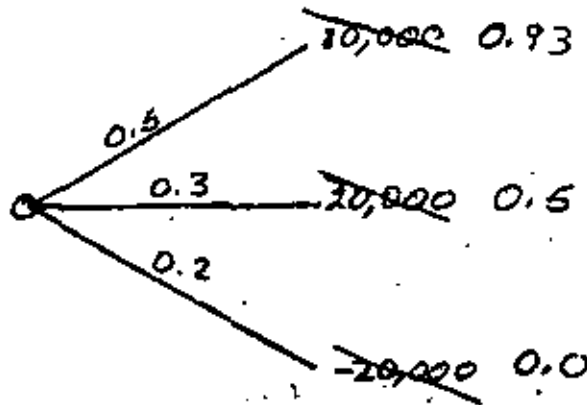
El EBC de la lotería B se obtiene de la siguiente forma:



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



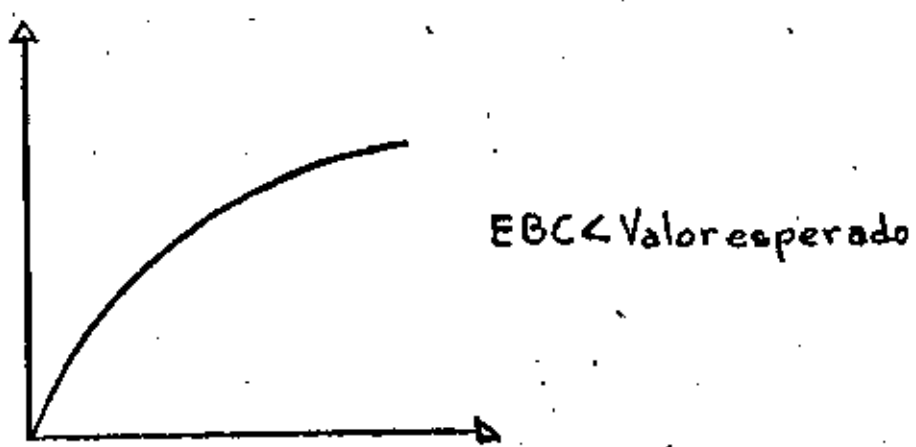
y se calcula el valor esperado correspondiente:

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

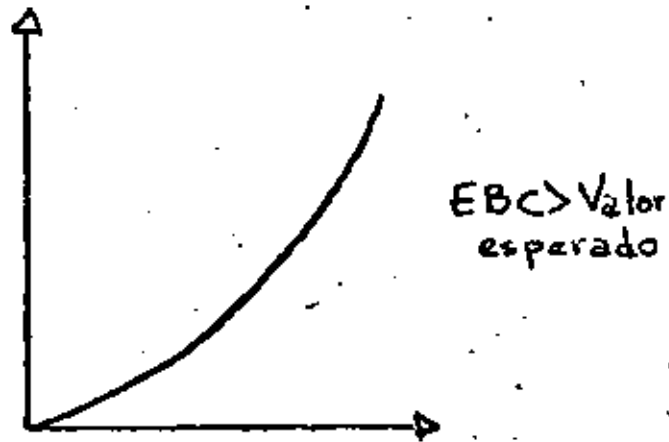
con lo cual se entra a la curva y se obtiene que EBC = 32,500

3.3 Aversión, propensión e indiferencia al riesgo

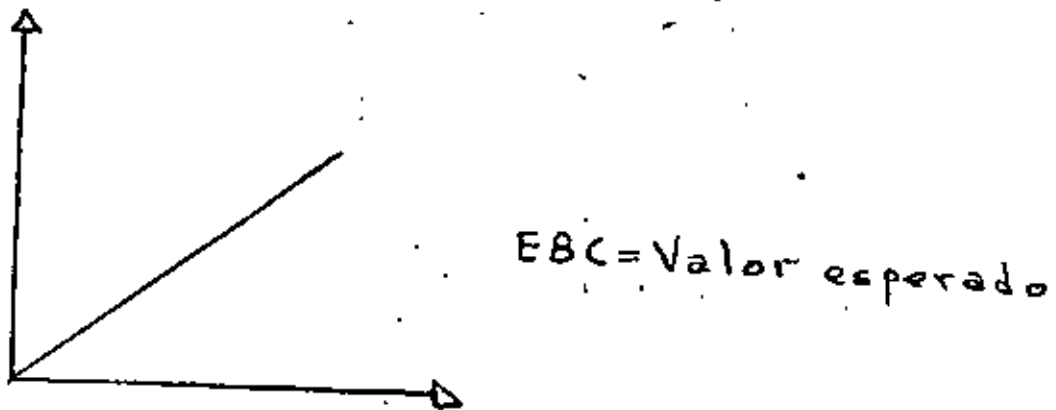
La curva del problema anterior representa a una persona que es adversa al riesgo



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. ANALISIS DEL PROBLEMA DE DECISION

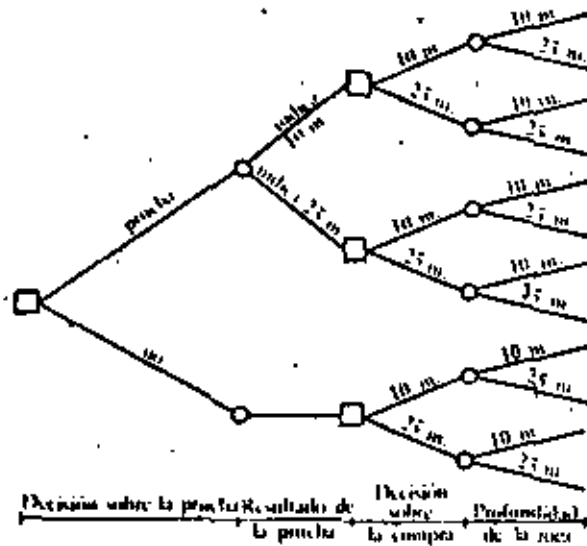
4.1 Problema con un atributo

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:



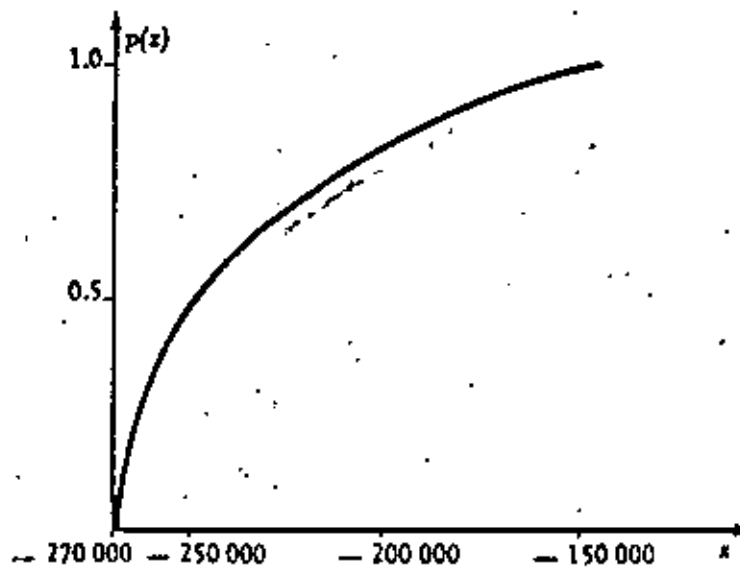
Se ha recopilado la información siguiente:

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

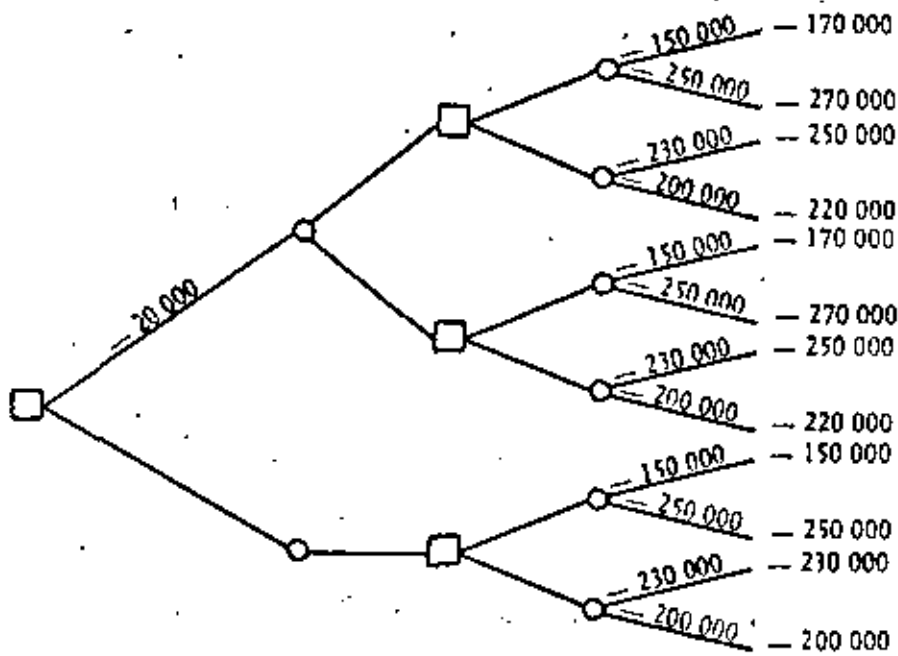
El costo de la prueba es de \$ 20 000.00 y los demás se muestran en la tabla:

	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:

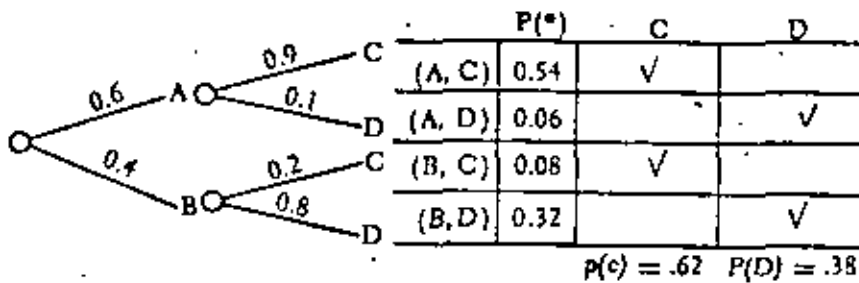


10. En el diagrama indicar los flujos parciales de dinero y evaluar los terminales.



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

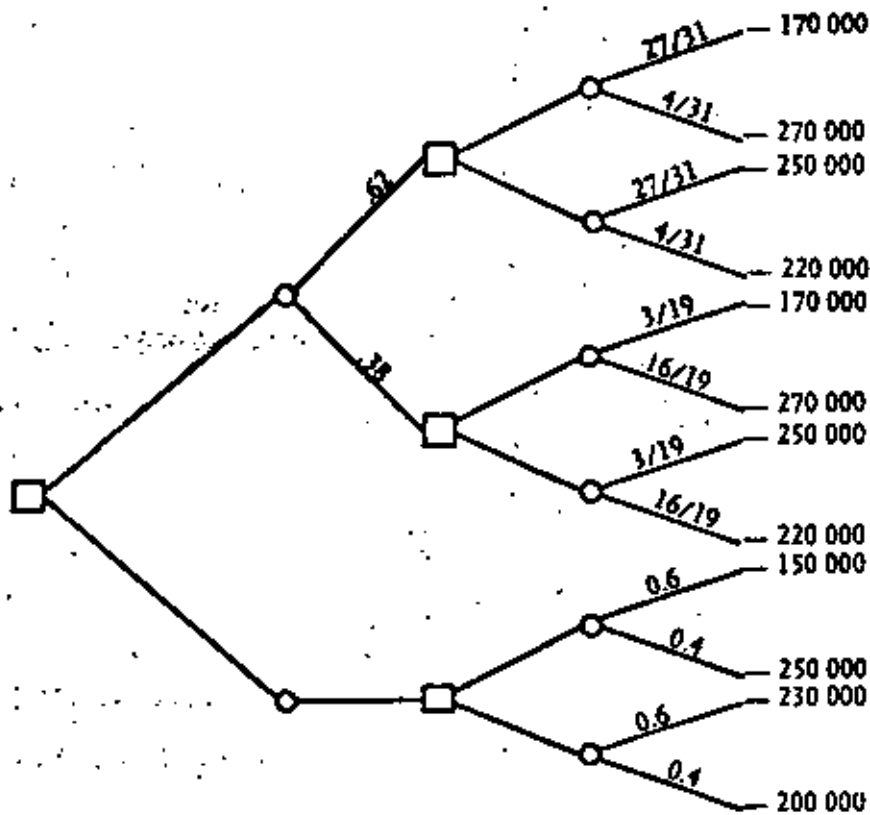
$$p(A/C) = p(A,C)/p(C) = .54/.62 = 27/31$$

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

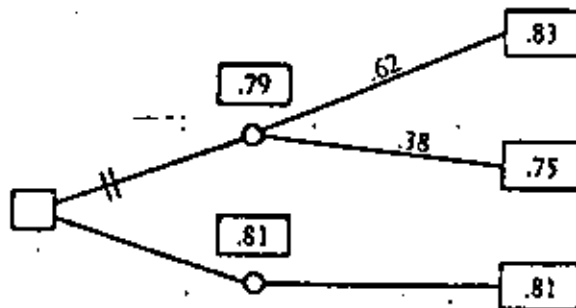
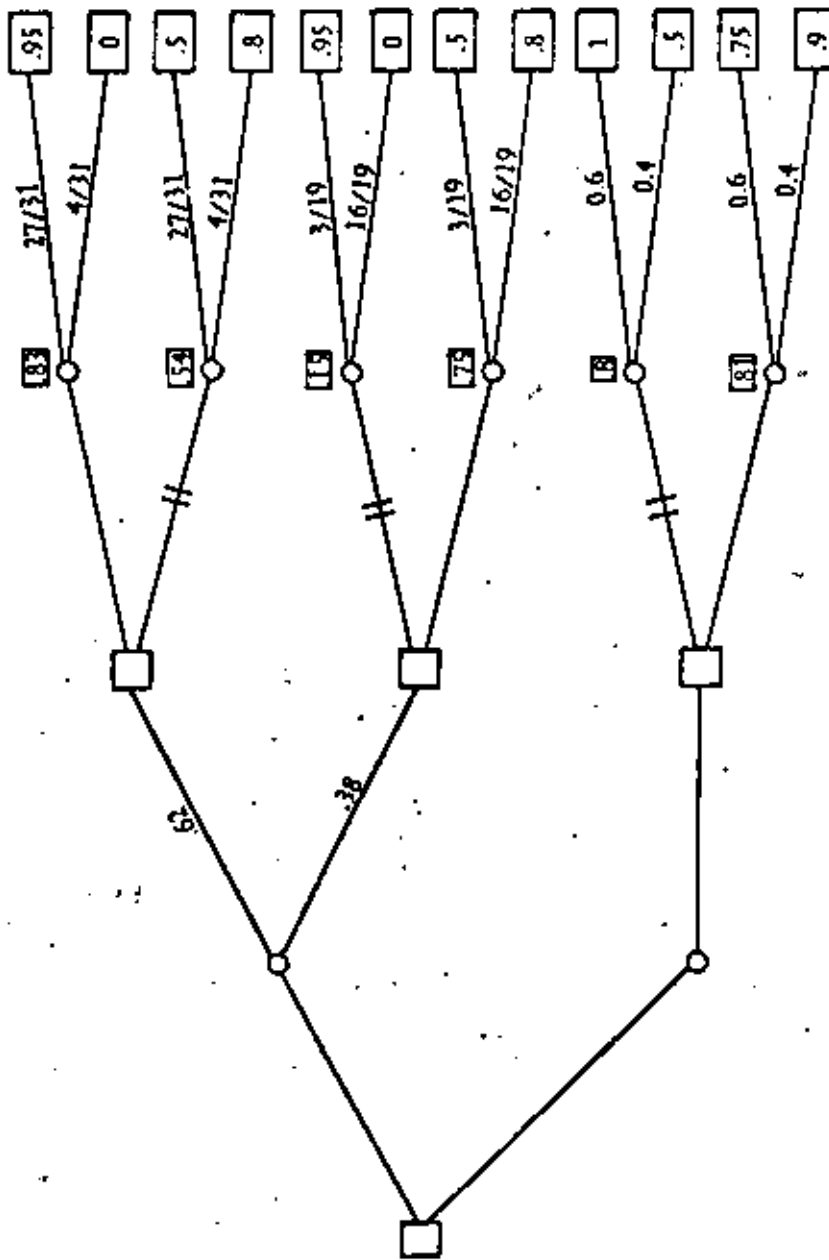
$$p(A/D) = p(A,D)/p(D) = .06/.38 = 3/19$$

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

luego 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 pilotes 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.

Kyburg 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

TEORIA DE INVENTARIOS

M. en I. Gustavo Rocha Beltrán

OCTUBRE, 1982

"TEORIA DE INVENTARIOS"

i

Las ocho formas básicas que, solas ó en combinación, constituyen la mayoría de los problemas con que se enfrentan los ejecutivos son:

- | | |
|-------------------|------------------|
| 1.- Inventarios | 5.- Trayectorias |
| 2.- Asignación | 6.- Reemplazo |
| 3.- Espera | 7.- Competencia |
| 4.- Secuenciación | 8.- Búsqueda |

Este tipo de problemas se van repitiendo, aparecen una y otra vez, lo mismo en un rancho ganadero, en una fábrica de cemento, en una ciudad ó en todo aquello que pueda conceptualizarse como sistema.

Toca ahora discutir los problemas de inventario. Un inventario es un recurso inactivo, que podría ser utilizado para producir un beneficio, y que sin embargo se debe mantener, con objeto de satisfacer una demanda.

El problema de hecho, consiste en controlar los inventarios, es decir, tener en existencia los materiales, el personal, el equipo, ó el dinero, según se trate, de manera tal, que se logre un equilibrio entre los costos propios de mantener el inventario y los costos de no poder satisfacer una demanda.

Los costos de llevar el inventario están constituidos por los costos de almacenamiento, los seguros, los impuestos y los correspondientes al deterioro u obsolescencia de los artículos que se mantienen en existencia. Estos costos son crecientes con el aumento del inventario.

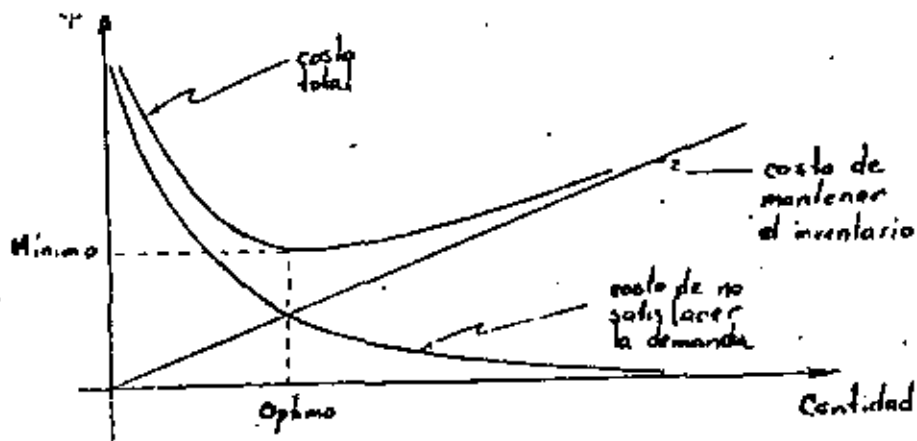
En cambio hay costos que disminuyen cuando el inventario aumenta:

-Los costos asociados con el retraso o la imposibilidad de satisfacer la demanda, y que se traducen en pérdida de ventas ó incluso en pérdida de clientes.

-Los costos de preparar, procesar y realizar una orden de compra (o de producción), ó los relacionados con la puesta en marcha para la producción de un lote.

- Los costos asociados con el ahorro obtenido por descuentos en el precio de compra o por las economías de escala al producir grandes lotes.

Un problema de inventario supone la existencia de dos tipos de costos: al aumentar el inventario, el primer tipo de costos crece y el segundo decrece. El inventario óptimo es aquel para el cual la suma de estos costos se hace mínima.



En una empresa se tienen siempre intereses en conflicto: Ventas pretende mantener un inventario alto y variado para poder surtir cualquier pedido; Compras también busca tener grandes inventarios, al querer aprovechar los descuentos y fluctuaciones decrecientes en los precios; Producción quiere programar y realizar grandes volúmenes, buscando reducir los costos unitarios; Finanzas, en cambio, se interesa en la rentabilidad de la empresa y en el flujo neto de efectivo, por lo que trata de bajar los inventarios; Ingeniería tiende a disminuir los inventarios, con objeto de evitar las pérdidas por obsolescencia.

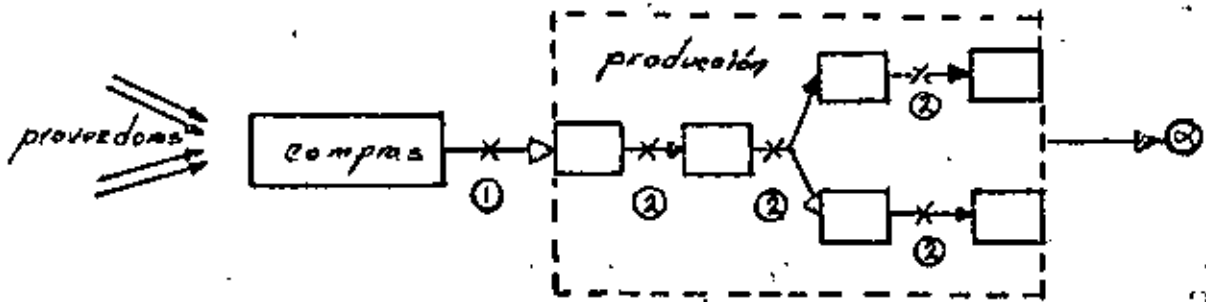
Para la empresa lo que importa es determinar el inventario óptimo de cada artículo, aquel que equilibra los intereses conflictivos de las partes.

Todos los costos descritos anteriormente dependen de la cantidad adquirida (producida) por orden, de la frecuencia de adquisición (producción), o de ambas cosas; de manera tal, que resolver un problema de inventario consiste en determinar cuánto se debe ordenar y cuándo debe ordenarse.

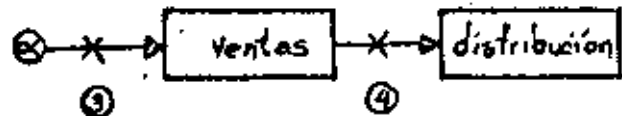
Además de los campos de acción típicos de los problemas de inventario, como son el de compras y el de producción, éstos aparecen también en la formación de recursos humanos, en la determinación del tamaño óptimo de un equipo, o en la determinación de la cantidad de capital circulante que debe haber en una empresa.

No hay dos problemas de inventarios iguales; cada problema debe atacarse de acuerdo con el sistema que se estudia o a la empresa de que se trata: no es lo mismo inventariar tuercas que inventariar computadoras.

En una empresa industrial más o menos compleja se tienen sistemas de aprovisionamiento a varios niveles. Este es el llamado problema de inventario multinivel que supone la minimización del costo total a todos los niveles.



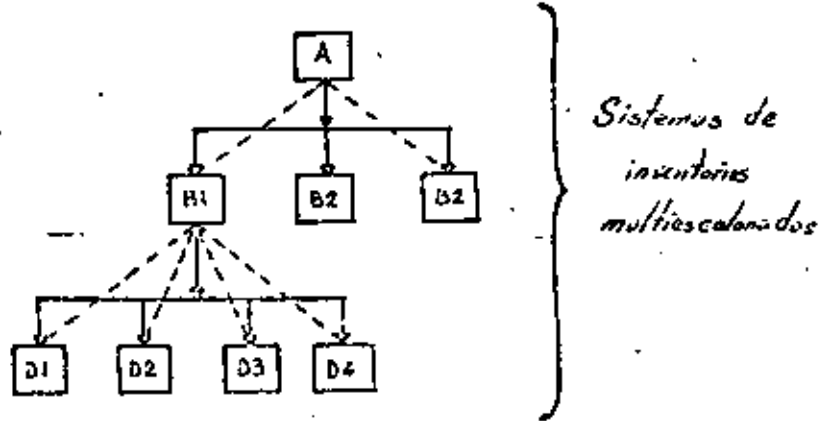
3



1. Inventarios de materias primas
 - . artículos para producción (componentes, subensambles).
 - . artículos para oficina
 - . herramientas
2. Inventarios de productos en proceso
3. Inventarios de productos terminados
4. Inventarios en tránsito

Un problema común consiste en determinar en qué punto del proceso de producción deben formarse los inventarios, y en qué deben consistir. Cuanto más elaboradas estén las mercancías mantenidas en existencia, menor será el retraso en el suministro a clientes, pero mayores serán los costos de almacenaje; lo contrario, ocurre con las mercancías menos elaboradas (en forma de materias primas en el caso extremo).

Otro problema, relacionado con el anterior es el de un sistema de inventarios multiescalonado, correspondiente a la distribución de un producto. Cuanto mayor sea el número de establecimientos de venta al detalle, mayores serán los gastos de almacenaje, pero menores serán las ventas que se pierden.



Los antecedentes básicos para enfrentar problemas de inventarios, son: Cálculo de Probabilidades (especialmente

la parte correspondiente a Procesos Estocásticos), Programación Lineal (álgebra matricial) y Programación Dinámica (cálculo de variaciones).

Aunque el problema de inventarios no ha sido resuelto completamente, las técnicas matemáticas se encuentran en un grado muy elevado de desarrollo y se cuenta ya con modelos que ayudan a resolver problemas simples desde el punto de vista analítico.

Para casos más complejos se utilizan las técnicas de simulación, las que consisten básicamente en imitar el funcionamiento del sistema bajo diferentes condiciones, hasta hallar un grupo de dichas condiciones que conduzca al costo mínimo.

En última instancia, lo que se pretende al mantener un inventario, es satisfacer una demanda, que puede ser constante o variable en el tiempo, determinística o aleatoria, predecible o impredecible. Por esto, las técnicas de predicción estadística son de gran utilidad para el manejo de modelos de inventarios.

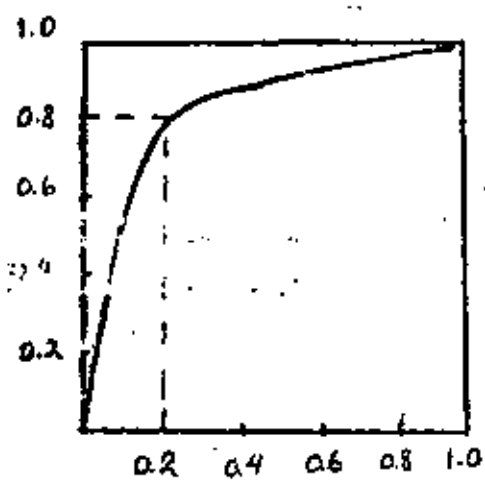
En función del tipo de demanda, los modelos de inventarios se clasifican como sigue:

Modelos	Determinísticos	Estáticos: demanda determinística y constante
		Dinámicos: demanda determinística, variable en el tiempo.
Modelos	Estocásticos	Estacionarios: demanda probabilística constante
		Dinámicos: demanda probabilística, variable en el tiempo.
		Con información incompleta: demanda impredecible.

La inversión en inventarios depende del tipo de empresa de que se trate: en una empresa petrolera, por ejemplo, los inventarios representan del 12% al 15% de los activos, mientras que para una cadena de tiendas de autoservicio, la proporción es del 60%.

Supongamos una tienda de autoservicio que maneja 150,000 artículos diferentes. Para resolver el problema de inventarios no vamos a construir 150,000 modelos matemáticos, sino que hacemos uso de una técnica muy antigua, conocida

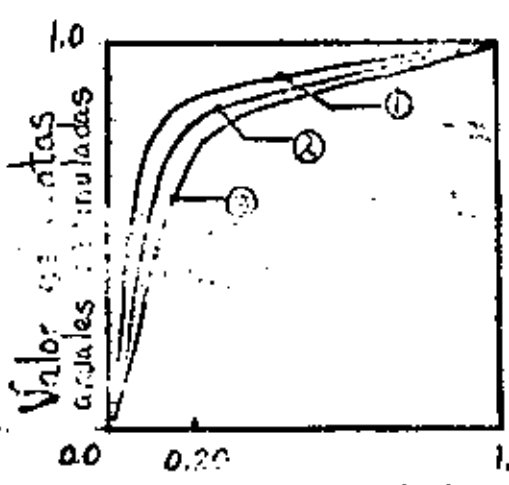
como técnica ABC, y que se fundamenta en la ley de Pareto o ley del 80-20: "el 20% de los agricultores contribuyen con el 80% de la producción agrícola"



"el 20% de los agricultores contribuyen con el 80% de la producción agrícola"

Ley de Pareto

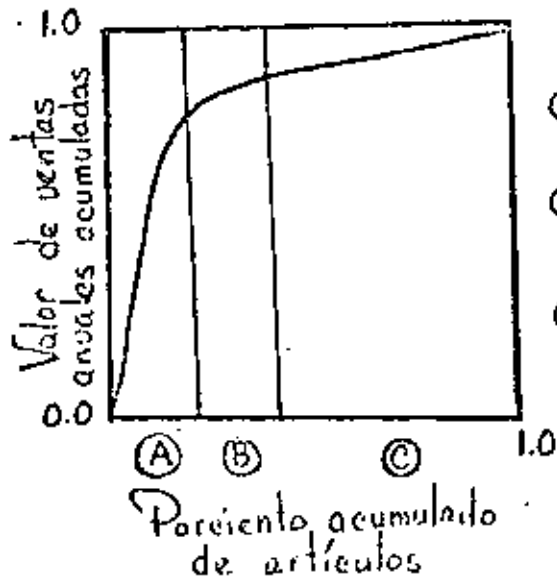
Aunque no en la misma proporción, la mayor parte del valor de las ventas proviene de un reducido número de artículos.



- ① Productos de muy alta tecnología
- ② Enseres domésticos
- ③ Equipo industrial ligero

Porcentaje acumulado de artículos

La técnica ABC clasifica los artículos en función de su valor de utilización, el cual se obtiene multiplicando el volumen de ventas por el precio unitario de venta (o bien por la utilidad unitaria que obtiene la empresa)



Ⓐ Modelos sofisticados

Ⓑ Modelos simples

Ⓒ Reglas estadísticas.

Art.	Volúmen Ventas	Precio Unitario	Valor de utilización (\$)	Clase
1	140	327.00	45,780.00	B
2	1204	2.40	28,896.00	C
3	41	13.25	543.25	C
4	627	685.00	429,495.00	A
5	33	127.00	4,191.00	C
.
.
.
150,000	203	200.00	40,600.00	B

Σ 375,000.00 1.00

Para los artículos clase A el análisis debe ser lo más cuidadoso posible, tomando en cuenta todas las variables que intervienen lo cual conduce al manejo de modelos matemáticos sofisticados. Los artículos clase B requieren

de modelos matemáticos simples, los cuales proporcionan soluciones satisfactorias. Para los artículos clase C normalmente se usan reglas estadísticas, aunque no deben soslayarse, pues aunque el porcentaje del valor de utilización sea muy bajo, el porcentaje de inversión en inventarios puede ser significativo.

Supongamos para nuestro ejemplo:

Clase	% artículos	valor de utilización (%)	periodicidad de pedidos (meses)	inventario de seguridad (meses)
A	20	87	1	1
B	20	9	3	2
C	60	4	12	18

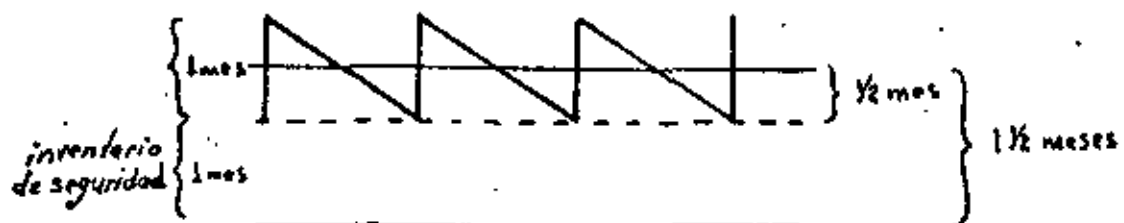
Clase	Inventario promedio (meses)	Valor total del inventario (meses)	Inversión en inventarios (meses)
A	* 1.5	$0.87 \times 1.5 = 1.31$	0.51
B	3.5	$0.09 \times 3.5 = 0.32$	0.12
C	24	$0.04 \times 24 = 0.96$	0.37

$$\Sigma = 2.58$$

$$1.00$$

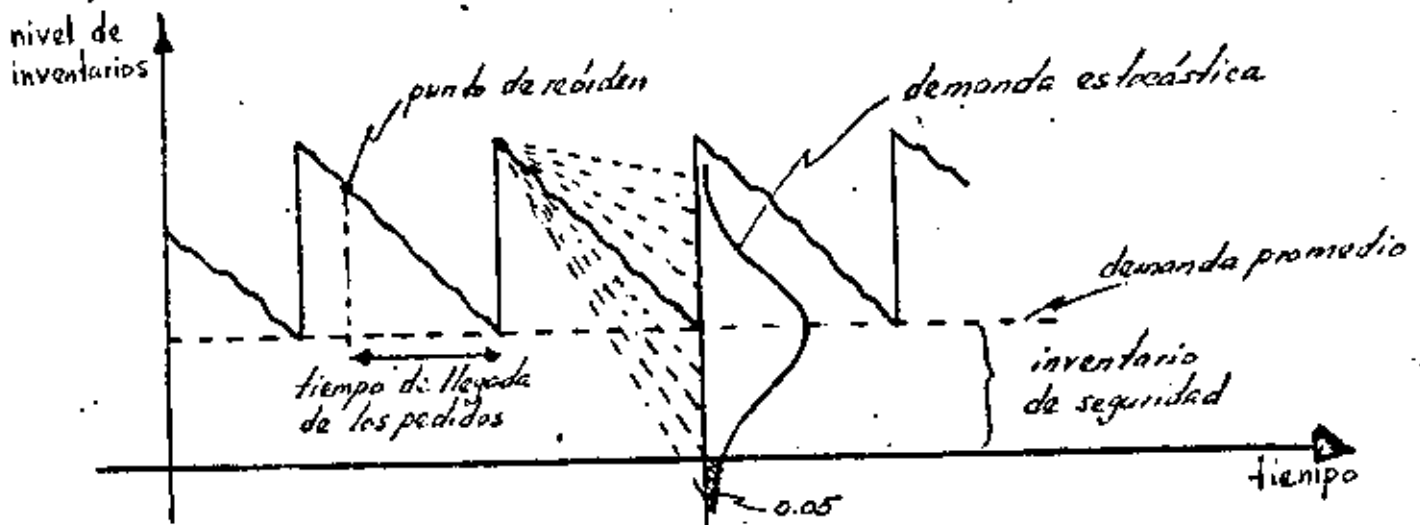
La inversión en inventarios de artículos clave C es del 37%, porcentaje nada despreciable.

El inventario promedio se obtiene como sigue:

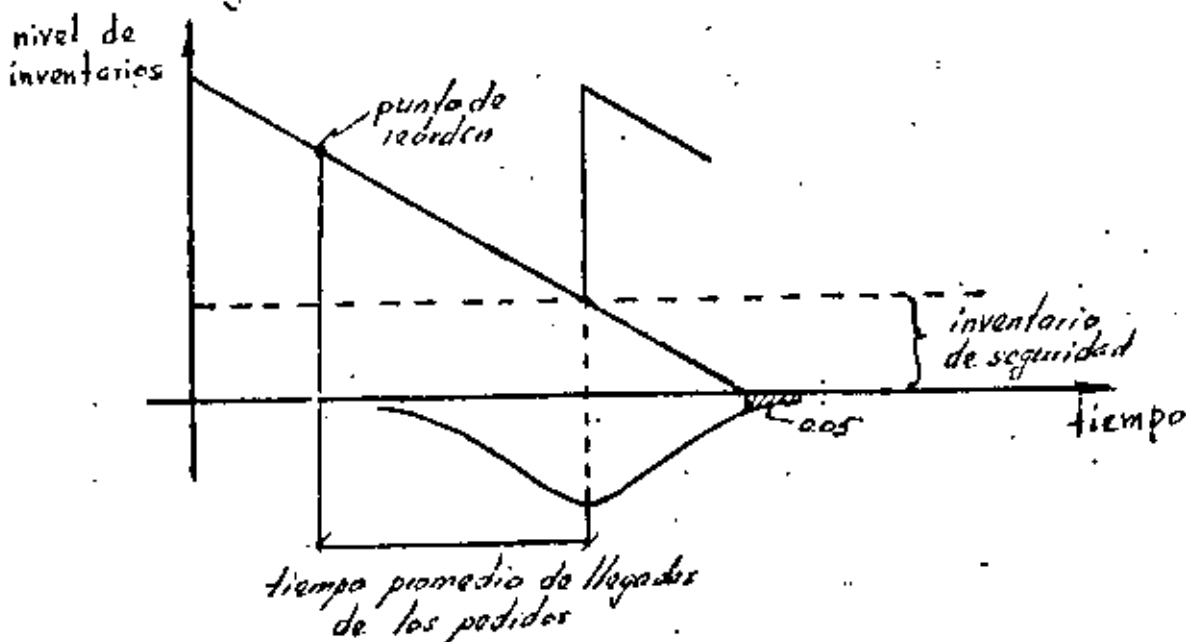


El inventario de seguridad se obtiene sumando los dos colchones de seguridad: el derivado de la demanda y el debido al tiempo de llegada de los pedidos.

Para el inventario de seguridad derivado de la demanda, cuando ésta es aleatoria, se obtiene eligiendo un nivel de servicio, por ejemplo del 95%, lo que significa que en el 5% de los casos, no se podrán surtir pedidos a los clientes.

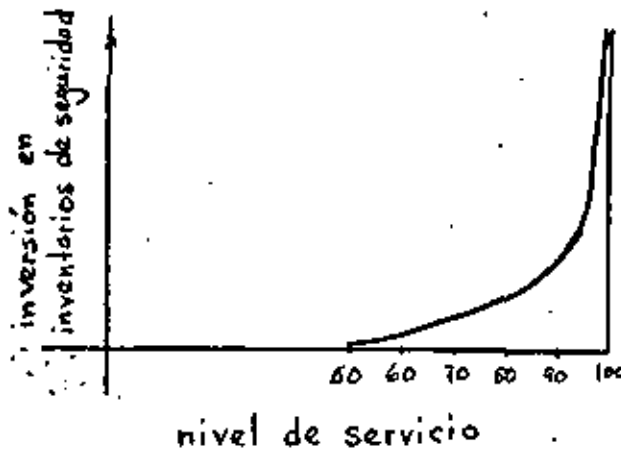


Inventario de seguridad por incertidumbre en el tiempo de entrega: Cuando el tiempo de llegada de los pedidos es estocástico, debe construirse un colchón de seguridad que tiene por objetivo absorber esta incertidumbre.



En los modelos determinísticos, el inventario de seguridad no existe.

El aumento de una unidad en el nivel de servicio es recomendable para niveles menores del 95%; para niveles mayores es antieconómico, pues la inversión en inventarios tiende a incrementarse.

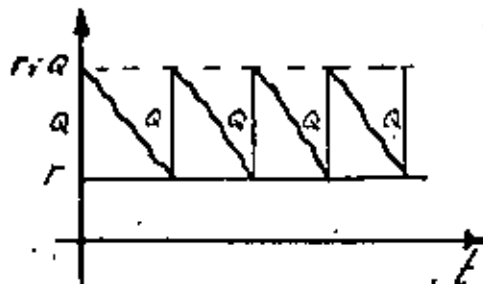


Las doctrinas de operación en inventarios son de dos tipos:

- a) Revisión continua: se registra cada pedido y cada venta, se toman decisiones en el momento, y los pedidos se colocan cuando se ha alcanzado un nivel de existencias predeterminado.
- b) Revisión periódica: cada cierto período predeterminado se revisa el nivel de existencias, resultado de las ventas realizadas en dicho período, y en función de esto se toma la decisión de cuanto ordenar.

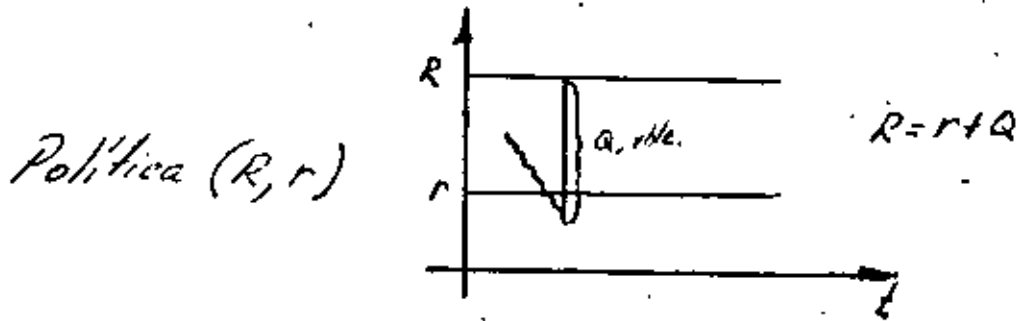
Los artículos de clase A requieren de revisiones continuas, en cambio los de clases B o C, requieren de revisiones periódicas.

Política (Q, r) : Cuando la demanda es estocástica con parámetros estacionarios, se coloca un pedido de tamaño Q , una vez que se ha alcanzado un nivel de existencias r .

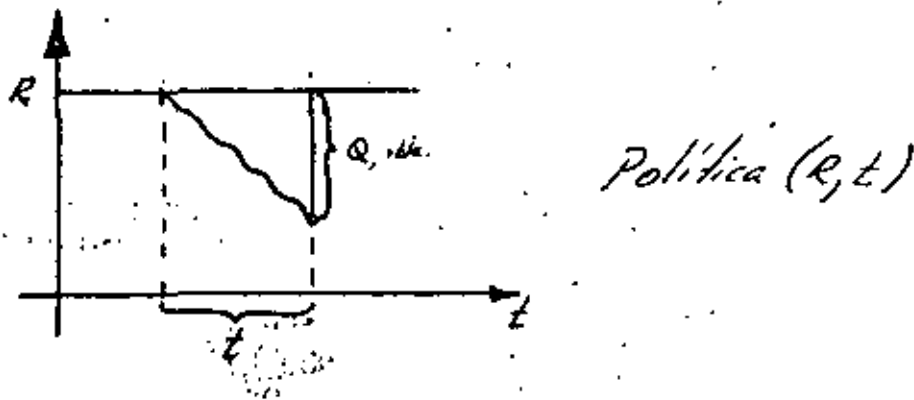


Política (Q, r)

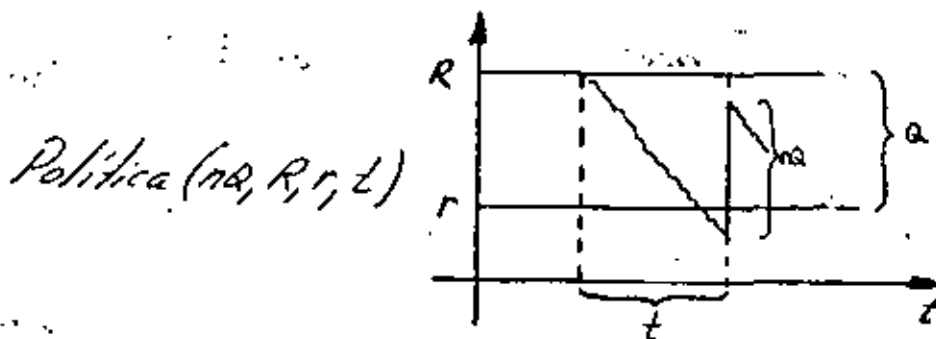
Política (R,r): Una vez que se ha alcanzado un nivel de existencias r, se coloca un pedido de tamaño variable de manera que se alcance un nivel máximo R.



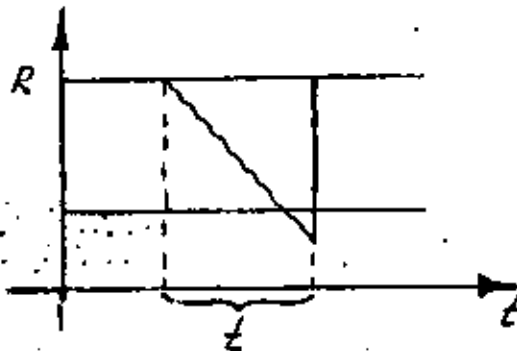
Política (R,t): Se revisa cada determinado período t y se coloca un pedido de tamaño tal, que se alcance un nivel máximo R.



Política (nQ,r,R,t): Se revisa cada determinado período t, si se está abajo de r, se coloca un pedido múltiplo de Q (nQ), que coloque el inventario entre r y R.



Política (R, r, t) : Se revisa cada determinado período t , si se está abajo de r , se coloca un pedido de tamaño tal que se alcance R .



Política (R, r, t)

MODELO DE TAMAÑO DE LOTE ECONOMICO: (Determinístico-estático).

Aunque en la realidad la demanda determinística no existe, los modelos determinísticos de inventarios son muy útiles cuando la demanda es estocástica estacionaria.

Suposiciones del modelo:

1. Un solo producto (aunque haya más, se analizan por separado).
2. Una sola localización de inventarios (un solo almacén).
3. Demanda determinística con tasa constante de λ unidades por año (aunque en general la demanda es discreta, aquí se considera continua para facilitar el análisis).
4. El tiempo de aprovechamiento τ es constante, independiente de λ y de la cantidad ordenada.
5. La cantidad ordenada es recibida en un solo lote (no se reciben lotes parcialmente).
6. El artículo se puede almacenar indefinidamente (no existe obsolescencia ni deterioro).
7. El sistema de inventarios continuará operando indefinidamente (no hay un período finito de planeación).
8. La demanda se satisface completamente (siempre hay existencias).

Nos interesa contestar dos preguntas:

- ¿cuándo pedir? Política de reórden
- ¿cuánto pedir? Cantidad de reórden (siempre la misma).

El criterio de optimización utilizado en este modelo es el de minimización de costos, puesto que la demanda es constante y se satisface completamente.

Las alternativas de evaluación son: el valor presente de los costos o el costo anual promedio. En este modelo se usa segunda alternativa.

Los costos que se ajustan al modelo son:

C = Costo de las unidades (\$/unidad)

(constante y no hay descuento por cantidad)

A = Costo de ordenar (\$/orden)

(fijo, independiente de la cantidad ordenada)

I.C = Costo de llevar inventarios (\$/unidad-año)

(donde I es la tasa de inventarios, actualmente del 30%, lo que significa que la corporación es taría dispuesta a gastar \$1.50 extra en operación para eliminar \$5.00 de inversión en inventarios)

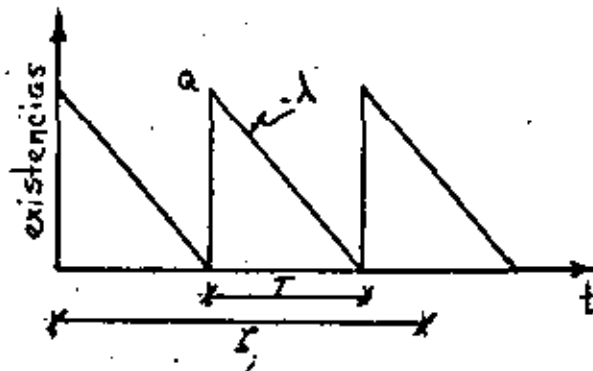
Las variables que intervienen en el modelo son:

T = tiempo del ciclo del inventario, tiempo entre pedidos o tiempo de llegada de pedidos.

Q = cantidad a ordenar

λ = número de artículos demandados por año.

Se tiene que: $T = \frac{Q}{\lambda}$



Número de pedidos:

$v = \lfloor \zeta/T \rfloor$, aproximando al entero inferior donde:

ζ = longitud de un intervalo de tiempo (generalmente un año)

En el tiempo ζ se tendrán v o $v+1$ pedidos.

$$\frac{\zeta}{T} + \epsilon \text{ pedidos, } \epsilon < 1 \quad + \frac{\zeta \lambda}{Q} + \epsilon \text{ pedidos}$$

Costos en el tiempo ζ

- costo de los artículos: $\left[\frac{\lambda \zeta}{Q} + \epsilon \right] Q \cdot C$

- costo de ordenar: $\left[\frac{\lambda \zeta}{Q} + \epsilon \right] A$

Costo de inventarios por ciclo:

$$\text{I.C.} \int_0^T f(t) dt = \text{I.C.} \int_0^T (Q - \lambda t) dt = \text{I.C.} \frac{TQ}{2}$$

En ζ existen los siguientes ciclos completos:

$$v = \frac{\zeta}{T} - \xi \quad 0 \leq \xi \leq 1$$

Costo del inventario en ζ : $IC \frac{TQ}{2} (\zeta/T - \xi) + N$

donde N es el costo de la fracción de ciclo que no se contabilizó en el otro término. $N < IC \frac{TQ}{2}$

Costo variable total en el tiempo ζ :

$$Z(\zeta) = \left[\frac{\lambda}{Q} \zeta + \varepsilon \right] Q.C. + \left[\frac{\lambda}{Q} \zeta + \varepsilon \right] A + IC \frac{TQ}{2} \left(\frac{\zeta}{T} - \xi \right) + N$$

Costo anual promedio en ζ :

$$K(\zeta) = \frac{Z(\zeta)}{\zeta} = \lambda C + \frac{\varepsilon Q C}{\zeta} + \frac{\lambda A}{Q} + \frac{\varepsilon A}{\zeta} + IC \frac{Q}{2} - \frac{\xi}{\zeta} ICT \frac{Q}{2} + \frac{N}{\zeta}$$

cuando $\zeta \rightarrow \infty$, el costo anual promedio es:

$$K = \lim_{\zeta \rightarrow \infty} \frac{Z(\zeta)}{\zeta} = \lambda C + \frac{\lambda A}{Q} + IC \frac{Q}{2}$$

El término correspondiente al costo de las unidades (λC) es independiente de la doctrina de operación, por lo que:

$$K = \underbrace{\frac{\lambda A}{Q}} + \underbrace{IC \frac{Q}{2}}$$

Costo de Costo de
ordenar inventario

K es función continua de Q , $0 \leq Q \leq \infty$

Para minimizar el costo, la primera derivada de K con respecto a Q , debe anularse.

$$\frac{dK}{dQ} = - \frac{\lambda A}{Q^2} + \frac{IC}{2} = 0$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2\lambda A}{IC}}$$

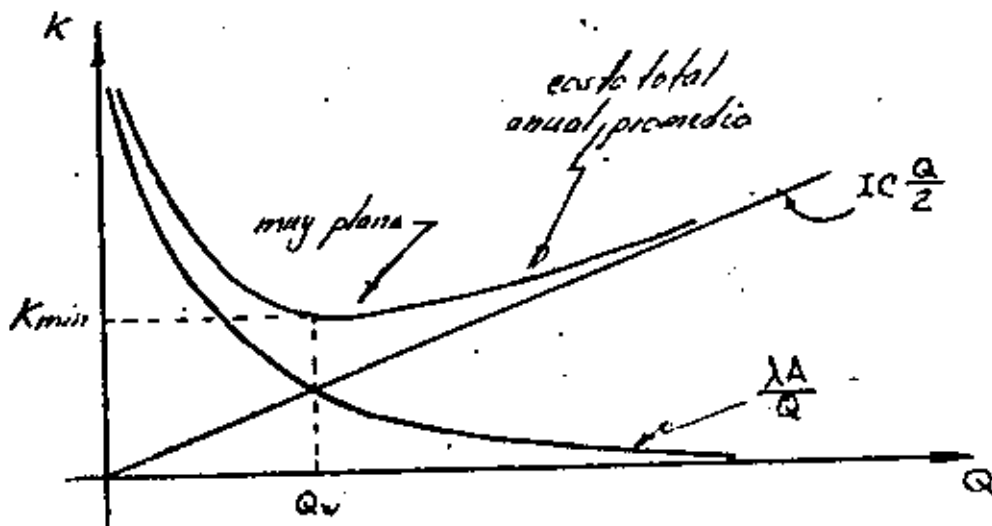
fórmula que da el tamaño de lote económico.

Observaciones:

Mientras más caros sean los artículos, menor será el tamaño del lote.

Mientras mayor sea la demanda, mayor será el tamaño del lote.

Mientras mayor sea el costo de ordenar, mayor será el tamaño del lote.



Para que Q^* sea mínimo, la segunda derivada debe ser positiva.

$$\frac{d^2 K}{dQ^2} = \frac{2\lambda A}{Q^3} > 0, \forall Q \rightarrow Q^* \text{ es mínimo absoluto.}$$

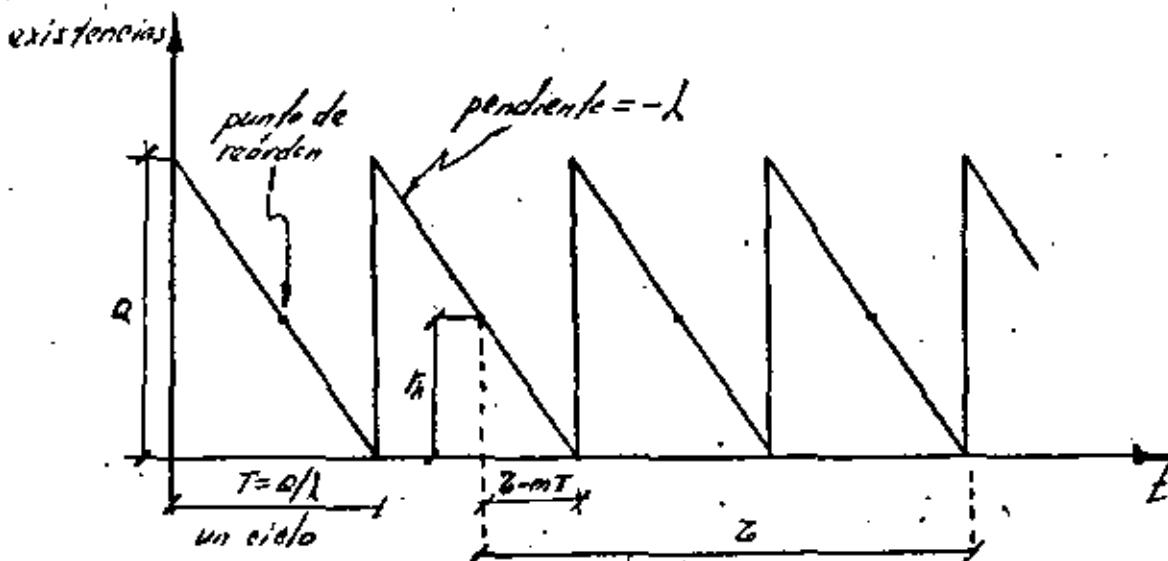
La pregunta de cuánto pedir ha quedado contestada, nos avocaremos a dar respuesta a la segunda.

Sea $m = \lfloor \zeta/T \rfloor$, aproximando el entero inferior, donde: $m =$ número de pedidos pendientes de surtir.

Nivel de reorden:

$$r_h = \lambda(\zeta - nt) = \lambda\zeta - nQ = \mu - mQ$$

donde: $\mu =$ demanda durante el tiempo de aprovisionamiento.



El pedido debe colocarse en el momento en el que el nivel de inventario es r_h , para ser surtido ζ unidades de tiempo después.

Una de las propiedades más importantes del modelo de

lote económico se desprende del análisis de sensibilidad de Q respecto a la curva de costo, la cual resulta ser muy plana, de manera que si la cantidad pedida es el doble de la óptima, el costo solo se incrementa en un 25%.

Suponga que uno de los artículos que maneja la tienda de autoservicio es el 78329, el cual fué manejado durante 1980 en la siguiente forma

No. artículo	Demanda λ (pzas/año)	Cantidad ordenada Q (pzas/lote)	Costo unitario C (\$/pza)	Costo de ordenar A (\$/lote)	Tiempo entre pedidos T (semanas)
78329	1560	97	48.20	25.00	3

Las alternativas de adquisición propuestas son:

1. Continuar adquiriendo de acuerdo a la política actual.
2. Adquirir lotes para tres meses de existencias.
3. Adquirir lotes conforme el modelo de tamaño de lote económico.

Alternativa 1. $Q = 97$ pzas/lote

$$K = \frac{1560}{97} \times 25 + \frac{0.20 \times 48.20 \times 97}{2} = \$869.60/\text{año.}$$

$$T = \frac{97}{1560} = 0.06 \text{ año} = 23 \text{ días}$$

Alternativa 2: $T = 3$ meses = 0.25 año

$$Q = 1560 \times 0.25 = 390 \text{ pzas/lote}$$

$$K = \frac{1560}{390} \times 25 + \frac{0.20 \times 48.20 \times 390}{2} = \$1979.80/\text{año.}$$

Alternativa 3:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 1560 \times 25}{0.20 \times 48.20}} = 90 \text{ pzas/lote}$$

$$K^* = \frac{1560}{90} \times 25 + \frac{0.20 \times 48.20 \times 90}{2} = \$867.13/\text{año}$$

$$T = \frac{90}{1560} = 0.06 \text{ año} = 22 \text{ días.}$$

BIBLIOGRAFIA:

- Brown, R.G., "Decision Rules for Inventory Management", Holt, Rinehart and Winston, New York, 1967.
- Hadley, G. and Whitin, T.M., "Analysis of Inventory Systems", Pentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1963.
- Johnson, L.A. and Mantgomery, D.C., "Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control", John Wiley, New York, 1974.
- Lewis, C.D., "Scientific Inventory Control", Butterworths, London, 1970.
- Naddor, E., "Inventory Systems", John Wiley, New York, 1966.
- Van Hees, R.N. and Monhemics, W., "An Introduction to Production and Inventory Control", Macmillan, London, 1972.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ENFOQUE DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS EN LA PLANEACION DE LA RED CARRETERA

M. en I. Francisco J. Jauffred Mercado

OCTUBRE, 1982

ENFOQUE DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS EN LA
PLANEACION DE LA RED CARRETERA

por

F. J. Jauffred*

①

Para principiar esta plática permítaseme repasar algunos conceptos que aunque son sobradamente conocidos por ustedes conviene tener presentes. Tal es el caso de Enfoque Sistémico, Sistema, Ingeniería de Sistemas e Informática.

El Enfoque Sistémico nace como una antítesis al enfoque reduccionista o elementalista. El elementalismo puede definirse como el método del conocimiento que esencialmente persigue llegar a lo fundamental, elementos indivisibles y sustanciales a los que cualquier objeto puede reducirse. El problema de la complejidad al que constantemente debe enfrentarse el planificador sería tratado, mediante este enfoque, reduciendo lo complejo a lo simple, el todo a sus partes elementales, llegando así a determinar el "átomo" que compendia el problema. No hace falta una gran meditación para concluir la indeseabilidad de este enfoque para el responsable de la Planeación, cualquiera que sea ésta.

La antítesis, el enfoque sistémico o integrador, procede de acuerdo con el principio de la Irreductibilidad de lo complejo a lo simple o del todo a sus partes; el objeto integral se considera que posee propiedades y cualidades que no necesariamente se contemplan en sus partes. Este es el enfoque útil al planificador. No es de extrañar, por tanto, que los ejemplos del uso generalizado del enfoque sistémico, de la penetración de su planteamiento, de la penetración de su planteamiento, de la incorporación de su terminología al lenguaje de políticos y administradores.

Los tratadistas sobre sistemas ofrecen diversas definiciones de este concepto, de hecho Sadvostky en su libro "Fundamentos de la Teoría General de Sistemas", analiza más de 30 distintas definiciones de sistemas, algunas de éstas son:

- "Un conjunto de elementos con sus interrelaciones". (Von Bertalanffy).
- "Cualquier conjunto de variables disponibles en una máquina real" (Ross Ashby).
- "Un conjunto de objetos y las relaciones entre los objetos y entre sus atributos" (Hall y Fagen).
- "Un conjunto de actividades que se encuentran conectadas, tanto en el tiempo como en el espacio, por un conjunto de decisiones y evaluaciones sobre su comportamiento" (Sengupta y Ackoff).

* Jefe de la Unidad de Informática de la Subsecretaría de Obras Públicas. SAHOP

"Cualquier cosa que consista de partes conectadas conjuntamente" (Beer).

"La aplicación (mápeo) de un conjunto de términos (insumos y estados) en otro conjunto de términos (productos)" (Mesarovic).

Sin embargo, tomando como punto de partida, la integridad de un sistema, éste se puede definir de una manera informal mediante los siguientes atributos:

- 1) El sistema es un complejo integral de elementos interconectados.
- 2) Forma una unidad especial al considerarlo conjuntamente con su ámbito.
- 3) Usualmente un sistema dado es una componente de otro sistema de orden superior.
- 4) Las componentes de un sistema dado son a su vez sistemas de orden inferior.

Es importante prestar atención a la característica jerárquica de los sistemas. La jerarquía se manifiesta tanto en la cadena de inclusiones de unos sistemas en otros como en la interacción de los subsistemas individualmente considerados; adicio-

②

nalmente se debe tomar en cuenta el carácter especial de los sub-sistemas orientados hacia un propósito específico y el impacto de estos en el sistema que lo comprende.

Es posible aspirar a una primera clasificación de los sistemas considerando el conjunto de objetos de que constan, se distinguen así tres grandes grupos: conjuntos desorganizados, sistemas no-orgánicos y sistemas orgánicos. Un conjunto desorganizado, por ejemplo una muchedumbre en una calle, carece de características esenciales de organización interna. Las conexiones entre sus partes constitutivas son de carácter externo, aleatorio no esencial. Las propiedades de este conjunto coincide con la suma de las propiedades de sus partes aisladamente consideradas. Este conjunto carece de propiedades sistémicas.

Por el contrario, las dos otras clases de conjuntos, el no orgánico y el orgánico, se caracterizan por tener conexiones entre sus elementos, lo que hace emerger nuevas propiedades para el conjunto, mismas que no se encuentran al tomar aisladamente sus elementos. Entre estas características distintivas se encuentran las de conectividad, unicidad y estabilidad estructural entre sus partes. Además, el que sean orgánicos o no, depende de características especiales de su proceso de desarrollo. Un sistema orgánico es un todo que se autodesarrolla pasando por diferentes etapas de complicación y diferenciación. De hecho las ca-

racterísticas esenciales de un sistema orgánico y que lo distinguen de otro no orgánico, son, entre otras, las siguientes:

- 1) Presencia de conexiones no sólo estructurales sino también genéticas entre sus elementos.
- 2) Existencia de coordinación y subordinación entre sus elementos.
- 3) Existencia de mecanismos de control.
- 4) En un todo orgánico las principales propiedades de sus partes se determinan por las leyes y estructura del todo.
- 5) La actividad de una cualquiera de sus partes se refleja en una mayor actividad del todo.
- 6) La transformación de una cualquiera de sus partes implica una transformación del todo.

Otra clasificación de uso frecuente consiste en diferenciarlos en sistemas cerrados y abiertos; aquí, pueden distinguirse:

Sistemas absolutamente cerrados, son aquellos en los que no existe interacción entre el sistema y su ámbito.

3

Sistemas relativamente cerrados, son aquellos en los que la manera en que el ámbito actúa sobre el sistema y la de éste sobre el primero, se encuentra estrictamente definida.

Sistemas abiertos, son aquellos en donde se consideran todos los posibles efectos del sistema sobre el ámbito y viceversa.

No en balde los sistemas administrativos lucen como complejos cuando se juzgan en toda su magnitud, de hecho son sistemas abiertos y orgánicos, los más complicados de todos los sistemas considerados. Si a lo anterior se le agrega el que la Administración Pública, como lo dice de la Oliva de Castro, es un sistema con un propósito, es un sistema teleológico, el grado de complejidad aumenta considerablemente.

Según Churchman, estos sistemas deben reunir, necesariamente, las siguientes características:

- 1) Constan de un conjunto de objetivos.
- 2) Existe un conjunto de indicadores que permiten medir su comportamiento.

- 3) Existe un "cliente" cuyos intereses son servidos por el sistema, de manera que entre mayor es la calificación que merece el sistema mejor son servidos los intereses del cliente.
- 4) El sistema consta de componentes que a su vez son teleológicos y que coproducen las medidas de comportamiento.
- 5) El sistema tiene un ámbito (definido teleológicamente o no) que también coproduce las medidas de comportamiento del sistema.
- 6) Existe un decisor, mismo que mediante los recursos a su disposición, puede producir cambios en las medidas del comportamiento de las componentes teleológicas y por ende en las medidas del sistema.
- 7) Existe un diseñador, quien conceptualiza la naturaleza del sistema de manera tal que los conceptos del diseñador potencialmente producen acción del decisor y por tanto, cambios en las medidas del comportamiento de las componentes y por ende del sistema.
- 8) La intención del diseñador es modificar el sistema buscando maximizar la utilidad de éste para el cliente.

4

- 9) El sistema es estable con respecto al diseñador, en el sentido de que hay una garantía implícita de que la intención del diseñador es factible de realizarse.

La Ingeniería de Sistemas, por otra parte, es como cualquier otra ingeniería: arte y ciencia, sólo que su objeto son los sistemas, fundamentalmente los teleológicos, tanto administrativos como técnicos. Una característica que distingue a la ingeniería de sistemas es el uso del enfoque sistémico, a diferencia de otras ingenierías que usan básicamente el enfoque reduccionista.

Sin embargo, tal como lo hacen otras ingenierías que proyectan, diseñan (dimensionan) y construyen, la de sistemas también proyecta, diseña e implanta lo que es su objeto, los sistemas. Y así como el ingeniero civil, por ejemplo, es complemento del que concibe y crea una edificación, el arquitecto, así también el ingeniero de sistemas complementa al administrador que crea y concibe un sistema administrativo, analizándolo, diseñándolo y por fin implantándolo.

Formalmente Jenkins define a la ingeniería de sistemas como "la ciencia de diseñar en su totalidad complejos sistemas asegurando que los subsistemas integrantes del sistema son: diseñados, ajustados conjuntamente, comprobados y operados de la manera más eficiente".



Para Wymore la "ingeniería de sistemas es la disciplina académica, intelectual y profesional que se ocupa del análisis y diseño de grandes complejos sistemas hombre-máquina".

Por su parte Chesnut asevera: "El método de la Ingeniería de sistemas reconoce en cada sistema un todo integrado compuesto de diversas estructuras especializadas y funciones. Además, reconoce que cualquier sistema tiene un cierto número de objetivos y que concilia la optimización de las funciones generales del sistema, de acuerdo a objetivos ponderados, con la obtención de máxima compatibilidad entre sus partes".

Rau señala: "La Ingeniería de sistemas consiste en la aplicación del método científico para integrar: definición, diseño, planeación, desarrollo, implantación y evaluación de sistemas, haciendo uso del enfoque de sistemas, el análisis de sistemas, análisis de requerimientos sistemáticos, análisis de mantenimiento, análisis informático y análisis operacional. Se ocupa básicamente en obtener un sistema total coherente que satisfaga un conjunto dado de objetivos y cumpliendo restricciones físicas ambientales y económicas".

Como puede observarse de las definiciones anteriores la Ingeniería de sistemas:

- a) Se ocupa de grandes y complejos sistemas como son los administrativos.

- b) Diseña e implanta sistemas que satisfacen un conjunto de objetivos.
- c) Maximiza la compatibilidad entre componentes.
- d) Usa modelos cuantitativos.
- e) Utiliza la herramienta Informática.
- f) Optimiza características globales del sistema.
- g) Evalúa el comportamiento de sistemas a retroalimentando información para decisiones correctivas.

Ya que se cita la ciencia de procesar la información de manera automática, la Informática, cabe reconocer que frecuentemente se le confunde con la Ingeniería de sistemas, tal vez porque el nacimiento del fenómeno informático coincide con la difusión del enfoque sistémico, o tal vez porque como dicen Evans y Hague "no hay informática válida o eficaz sin enfoque sistémico". Cualquiera que sea la causa, este error ocurre a menudo y conviene puntualizar, que para el ingeniero de sistemas la Informática es un auxiliar de inapreciable valor, si pero sólo es un instrumento al que casi ineludiblemente debe acudir dado el volumen y complejidad de la información que los grandes sistemas que analiza necesariamente generan. Al Ingeniero de sistemas, la computadora le permite simular internamente los sistemas que diseña, probándolos así antes de implantarlos, también logra mediante este

instrumento y haciendo uso de los modelos cuantitativos correspondientes, diagnosticar la operación de los sistemas, controlarlos y en última instancia optimizarlos.

Para el administrador, la computadora no solamente le realiza procesos rutinarios como pueden ser nóminas o contabilidad, con lo que ya logra un gran auxilio, sino lo que es más importante, le permite analizar sus decisiones y las consecuencias de ellas antes de tomarlas. Aquí nuevamente se pone de manifiesto el valor de la mancuerna administrador-ingeniero de sistemas, ya que este último al formularle al primero los modelos analíticos que sus decisiones requieren permite que el informático los procese eficientemente y suministre las respuestas que al administrador busca.

Si ahora nos ubicamos en la SAHOP, entidad que tiene a su cargo la planeación, construcción y mantenimiento de la red carretera nacional, debemos necesariamente acudir al excelente trabajo del C. Subsecretario de Obras Públicas, Sr. Ing. Rodolfo Félix Valdés, titulado "El Sistema Carretero Nacional" presentado en el Seminario Nacional sobre el Enfoque de Sistemas en la Administración Pública de reciente celebración.

Refiriéndose a los niveles sistémicos, podemos señalar en el primero de ellos el sistema de ordenamiento del territorio nacional, cuyo objetivo central es la planeación y conducción de

la ordenación del territorio del país. Para cumplir con ese objetivo, ese sistema se desdobra en dos subsistemas: El de Asentamientos Humanos, cuyo objetivo apunta al manejo del medio ambiente y los recursos naturales, especialmente en el uso del suelo para inducir los Asentamientos Poblacionales; y el de Entidades Territoriales, cuyo objetivo fundamental es el de posibilitar la comunicación permanente entre los asentamientos humanos, así como el transporte entre centros de producción y centros de consumo, entre otros.

Por tanto, el subsistema de transporte se ubica jerárquicamente en el tercer nivel en lo que a la Secretaría le compete y se integra, a su vez, por el siguiente nivel: El transporte aéreo y el transporte terrestre y dentro de este concretamente, el subsistema de transporte carretero, al que le corresponderá, por tanto, el quinto nivel, y cuyo objetivo consiste en permitir y/o facilitar el intercambio por tierra entre los diversos asentamientos humanos, mediante el empleo del vehículo automotor.

Pero como la responsabilidad de nuestra dependencia únicamente se circunscribe a la infraestructura, es el subsistema de infraestructura para el transporte carretero, que se ubica en el sexto nivel, donde puede aún seguirse la precisión de su objetivo específico, que consiste en permitir y/o facilitar el desplazamiento de vehículos autopropulsados sujetos al control de un conductor, en condiciones de eficiencia y seguridad.

No es muy difícil concluir que el sistema carretero es teleológico si analizamos sus características, a la luz de las condiciones ya mencionadas:

- a) El sistema carretero tiene objetivos, no solamente los de carácter general, que forman parte de los de la Administración Pública de suministrar servicio en forma eficiente, eficaz y congruente, sino objetivos físicos específicos, a este respecto puede señalarse que en fecha reciente el Sr. Presidente de la República ha autorizado iniciar un programa que implica, gruesamente hablando, que para el año 2000, se habrá duplicado la red carretera actual, se visualiza disponer de 10,000 km de autopistas, 20,000 km de carreteras de dos carriles de altas especificaciones, 100,000 km de carreteras secundarias pavimentadas, 50,000 km de carreteras revestidas, 120,000 km de caminos rurales, y el resto corresponderá a brechas de terracería.

Estas metas numéricas son consecuencia de dos objetivos básicos que a su vez se fijaron para superar los dos problemas más graves que confronta el sistema carretero nacional y que ya fueron mencionados; es decir, la insuficiencia para responder a la

7

creciente demanda de transporte carretero y su limitada extensión lo que deja a una buena parte de la superficie del país y a un gran número de localidades, sin conexión permanente y adecuada con el resto de los mexicanos y por ende, sin uno de los factores básicos de desarrollo.

- b) Sin lugar a dudas es posible fijar medidas de comportamiento del sistema, tanto de carácter general como específico. Así, entre las de carácter general se pueden fijar y de hecho se han fijado, entre otras, dos que se derivan de los objetivos mencionados en el inciso anterior: porción satisfecha de la demanda de transporte carretero a nivel nacional y estatal, así como número de localidades comunicadas con el resto del país, entre las de carácter específico se puede citar la que se refiere al estado actual que físicamente guardan las carreteras del país y que permite definir prioridades para su conservación, así como mejorar las que se encuentran en peor estado para el tránsito que soportan.
- c) El usuario es el pueblo de México en general, que en una u otra forma hace uso del sistema carretero nacional para satisfacer sus necesidades de comuni-

8

cación y transporte, desde luego que entre estos usuarios destacan en particular los campesinos que se sirven de este sistema para transportar sus cosechas a los centros de consumo, aquí es posible acotar algo que es propio de este sistema: su absoluta interrelación con otros sistemas, particularmente con ese gran acierto que a tan corto plazo empieza a producir resultados espectaculares, el Sistema Alimentario Mexicano.

d) Las componentes del sistema son los tramos de carretera que no sólo cumplen con misiones de índole particular en la entidad federativa en que se localizan, sino que muchas de ellas son verdaderas arterias para llevar a buen fin el quehacer nacional, sobra decir más sobre la característica teleológica de estas componentes.

e) El ámbito en el que opera el sistema carretero es el país, México Todo. Distinguiendo las usuales divisiones del ámbito: ~~así que anteriormente se hizo referencia~~ es decir, político-social, administrativo-económica y físico-técnica. Por lo que hace a la primera, tenemos nuestro pacto federal que nos ha permitido existir y desarrollarnos como país

independiente, dándonos leyes, que en lo que hace al sistema carretero, van desde nuestra carta fundamental hasta la propia ley de obras públicas; tenemos también nuestra división de poderes en ejecutivo, legislativo y judicial, tanto a nivel federal como estatal. Desde el punto de vista social, apuntaremos que nuestra propia idiosincrasia determina nuestro comportamiento, tanto individual como colectivo, lo cual define ciertos patrones de transportación y por consiguiente, afectan en mayor o menor grado a la construcción y conservación de carreteras.

Por lo que se refiere a la segunda división, la administrativo-económica, ya se señaló antes que es el poder ejecutivo al que nuestras leyes confieren la tarea de planear, construir y conservar el sistema carretero, lo cual realiza por conducto de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas en coordinación con varios otros sectores, particularmente, el financiero. Vuelve a ponerse de manifiesto la gran interacción del sistema carretero con otros sistemas, tales como el alimentario, el educativo, el de energéticos, el de salud,

el del trabajo, y así seguiría una lista en la que habría que incluir prácticamente a todos los sistemas identificados en la Administración Pública y una buena parte de los que a los sectores privado y social corresponden.

Es nuestro sistema uno de los más interactuantes con otros, de los que más influyen y que más hacen sentir su presencia. Tal vez no han exagerado diversos autores cuando lo han señalado como uno de los básicos en cualquier economía. Cabe citar que en el programa antes mencionado se contemplan, entre otras, las siguientes acciones concertadas con otros sistemas:

- Aumentar la capacidad de transporte, para satisfacer los requerimientos del plan global de desarrollo.
- Abatir los costos de transporte con efectos directos en la productividad y en los precios.
- Eliminar los cuellos de botella en la red, los que pueden conducir al colapso del sistema, con efectos en todo el aparato productivo.

②

- Incrementar el nivel de seguridad de los enlaces carreteros para abatir el número de accidentes.
- Generar fuentes de empleo a corto plazo y contribuir a la apertura de otras fuentes a mediano y largo plazo.
- Promover la incorporación al mercado interno, de la producción pesquera litoral de pequeña y mediana escala.
- Incorporar permanentemente al concierto nacional a los grupos sociales ancestralmente marginados.
- Incorporar a la economía nacional zonas rurales potencialmente productivas y actualmente incomunicadas.
- Contribuir al desarrollo de nuevos centros de interés turístico y mejorar el acceso en los existentes.

En lo que toca a los aspectos físico-técnicos, afortunadamente se dispone de convenios internacionales que permiten conocer con profundidad el estado que guarda la tecnología carretera en otros países;

del estudio comparativo con la nuestra, se concluye que se encuentra precisamente al nivel deseable; gracias a la labor de la Dirección de Estudios del Territorio Nacional de la Secretaría de Programación y Presupuesto y al conocimiento al detalle de estudios propios, se dispone de un acervo importante de datos físicos del país. Se cuenta, en fin, con especificaciones constructivas en constante actualización y con un cuerpo de diseñadores y constructores cuya capacidad y preparación han merecido reconocimiento internacional.

- f) El decisor está constituido por los poderes de la Unión, particularmente el ejecutivo que está depositado en el Presidente de la República, quien ha definido las actividades por sectores y secretarías involucradas en el proceso de la toma de decisiones a nivel federal. A nivel estatal, los señores gobernadores y las correspondientes organizaciones locales, intervienen en el proceso de decisión, cuando los tramos carreteros analizados son de jurisdicción local.
- g) Puesto que la planeación, construcción y conservación de las carreteras se le confía al poder ejecutivo,

el diseñador forma parte de éste. De hecho, el diseño lo realiza la SAHOP mediante las Direcciones especializadas en la materia. Como ya se dijo, dichos cuerpos de diseño se encuentran a niveles técnicos reconocidos no sólo nacionalmente, sino que la tecnología que ellos han desarrollado es ya solicitada por otros países, además de contar con los instrumentos informáticos y otras herramientas auxiliares comparables a las de los países de alta tecnología.

- h) La estabilidad del sistema no se pone en duda, todos sus diseños no solamente son factibles de realizarse, sino que es política permanente el que se produzcan dentro del marco de la tecnología adecuada y siempre buscando costo mínimo y máxima efectividad para el pueblo usuario, incluyendo los beneficios que se derivan de las obras diseñadas.

No es, pues, aventurado sostener que el sistema carretero es teleológico, como tampoco lo es sostener que el enfoque sistémico es determinante en su concepción y que paulatinamente se han ido incorporando las técnicas de la ingeniería de sistemas en su planeación y desarrollo, de hecho, aplicando estas técnicas en años anteriores se diseñó un sistema que domésticamente se

denominó SAPRIN -Sistema Adaptivo para la Programación Integral- que partiendo de objetivos solidamente enraizados en el ámbito y con metas realistas, determinó los programas de acción a desarrollar en el área de las obras públicas. Se le incorporaron medidas del comportamiento -de efectividad- sobre el logro de los objetivos, y una medida colectiva respecto a la efectividad conjunta. Adicionalmente se le incorporó un mecanismo de control, mismo que con la información de campo recabada por un sistema Ad Hoc, proponía decisiones a tomar, hábida cuenta de los recursos disponibles y tendiente todo ello a lograr los máximos beneficios!

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 1). Considero la geometría y longitudes de un conjunto de calles de un solo sentido (fig.1) y supongo que deseo 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 más 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 más corta de A a B. El único problema de este razonamiento es que no es posible conocer L_C y L_D .

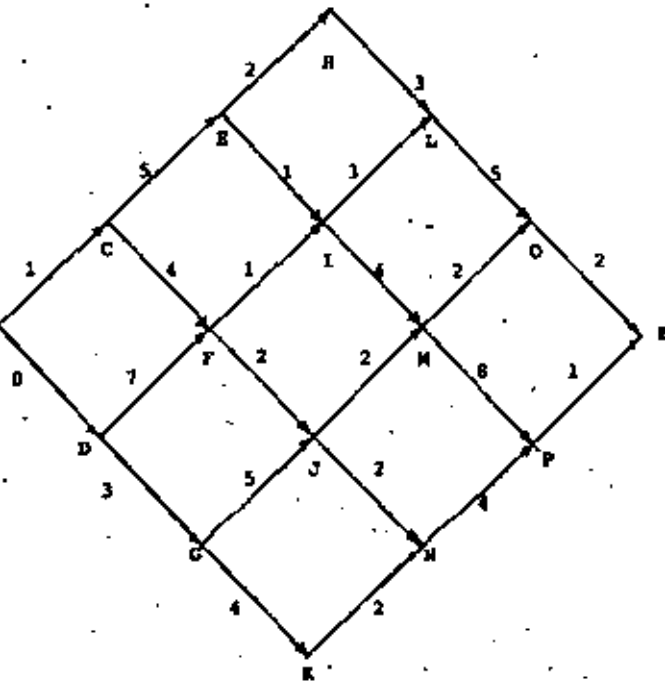


Fig. 1. Geometría de un conjunto de calles

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

$$L_D = \min(7 + L_F, 3 + L_C)$$

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:

$$L_L = 5 + L_O = 7 \quad ; \quad L_M = \min(2 + L_O, 3 + L_P) = 4$$

$$L_N = 4 + L_P = 5 \quad ; \quad L_H = 3 + L_L = 10$$

$$L_I = \min(3 + L_L, 4 + L_M) = 8$$

$$L_J = \min(2 + L_M, 2 + L_N) = 6 \quad ; \quad L_K = 2 + L_M = 7$$

$$L_E = \min(2 + L_H, 1 + L_I) = 9$$

$$L_F = \min(1 + L_I, 2 + L_J) = 8$$

$$L_C = \min(5 + L_J, 4 + L_K) = 11$$

$$L_D = \min(5 + L_E, 4 + L_F) = 12$$

$$L_D = \min(7 + L_F, 3 + L_C) = 14$$

$$L_A = \min(1 + L_D, 0 + L_P) = 13$$

Conviene estimar el esfuerzo requerido con este camino y

compararlo con el enfoque exhaustivo. En este caso se acusó efectuar una suma en cada uno de los puntos H, L, O, X, 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:

$$L_L = 5 + L_O \quad \& \quad L_D = \min (7 + L_F, 3 + L_G)$$

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.

23

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

$$f(6,0) = 0$$

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 (Miles 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

$$x = \sum_{i=1}^3 B_i(q_i) - 30c\left(\sum_{i=1}^3 q_i\right) - 20c(q_2+q_3) - 25c(q_1)$$

$$q_1 + q_2 + q_3 \leq 800$$

$$q_1 \geq 0; q_2 \geq 0; q_3 \geq 0$$

25

La solución con programación dinámica.

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.

$$J_{k+1}(q) = \max_x \{B_{k+1}(x) - d_{k+1} c(q) + J_k(q-x) \mid 0 \leq x \leq q\}$$

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

$$J_1(q) = \max \{B_1(q_1) - 25c(q_1) \mid 0 \leq q_1 \leq q\}$$

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 $J_2(q, q_2) = B_2(q_2) - 20 c(q) + J_1(q - q_2)$. 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	544		
600	0	600	906	1206	q* ₂ = 400 q* ₁ = 200
	200	400	1118		
	400	200	<u>1206</u>		
	600	0	876		
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 $J_3(q, q_3) = B_3(q_3) - 30 c(q) + J_2(q - q_3)$ cuya solución óptima para $q = 800$ se muestra a continuación:

q	q ₃	q - q ₃	J ₃ (q, q ₃)	J ₃ (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 $x < 5$; $f_i(x) = 1$ 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

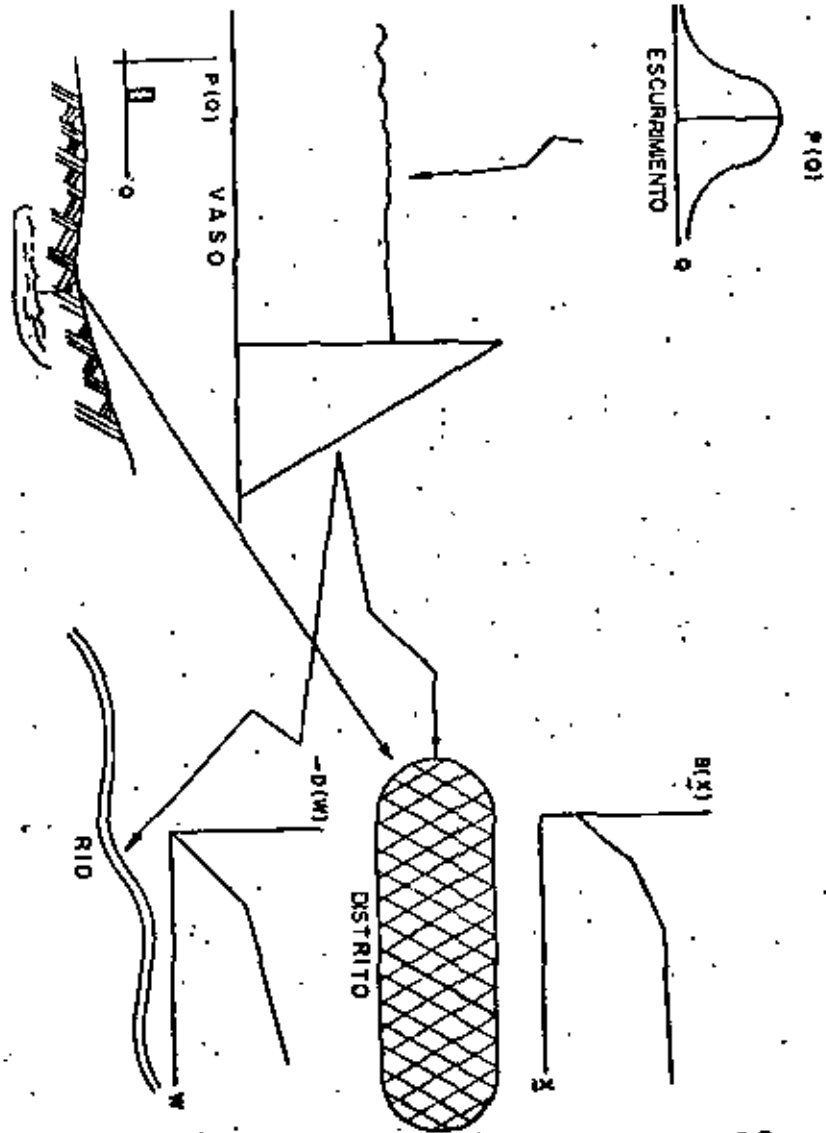
S	0	1/4	1/2	3/4	1
w	1/4	1/4	1/2	3/4	3/4

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 $x - \bar{x} > 0$ es

$x - \bar{x}$	0	1/4	1/2	3/4	1
$T(x - \bar{x})$	0	-4	-7	-9	-10

y la debida a derramar un volumen s es:

s	0	1/4	1/2	3/4	1
$D(s)$	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 período 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 carácter estocástico de los escurrimientos al vaso y un criterio de jerarquización de alternativas de operación para un número N de períodos de planeación.

El modelo propuesto se presenta en la siguiente hoja en donde (1) representa la ecuación de balances 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 ó 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 período. 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

$\phi_i(S_i)$, 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 $\phi_i(S_i)$ es dada como sigue:

$$\phi_i(S_i) = \max_{x_i, w_i} \sum_{O_i} (R(x_i, x_i, w_i) + \beta \phi_i(S_{i+1}))$$

donde $R(x_i, x_i, w_i) = R(x_i) + T(x_i - x_i) + D(w_i)$ y O_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 $\phi_0(S_0) = 0$.

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:

$$\phi_i(x) = \max_k \left\{ \sum_{s=1}^5 P_{rs}^k \left[R_{rs}^k + \beta \phi_{i+1}(s) \right] \right\}$$

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 el problema analizado como un proceso de Markov con descuento.

PROBLEMA DE ASIGNACION DE AGUA

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^N \beta^{i-1} [R(x_i) + T(x_i - x_i) + D(w_i)]$$

sujeeto a:

(1) $S_{i+1} = S_i + O_i - x_i - w_i$

(2) $0 \leq S_i \leq I$

(3) $0 \leq x_i \leq x_i$

(4) $0 \leq w_i$

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

$$v = q + EPv \text{ cuya solución } v = [I - EP]^{-1} q \text{ es:}$$

$$v = [19.02, 19.42, 20.92, 21.92, 22.22]$$

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 $v = q + EPv$ dada por

$$v = [I - EP]^{-1} q \text{ es igual a}$$

$$v = [18.18, 19.58, 21.08, 22.08, 22.58]$$

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 $\sum_{s=1}^5 P_{sk}^k X_{sk}^k$		
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
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	0	0	4/3	
	3(2/4)	3/6	2/6	1/6	0	0	7/6	7/2	7/2	0	0	0	7/6	
	4(3/4)	5/6	1/6	0	0	0	11/10	9/2	0	0	0	0	5/3	
	5(1)	1	0	0	0	0	-2/6	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	0	-3/4	
	2(1/4)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	2	0	2	2	2	0	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	9/5	5	0	0	0	0	13/6	
3(1/2)	1(0)	0	0	3/6	0	5/6	0	0	0	0	-14/6	0	-35/18	
	2(1/4)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	2	0	2	9/6	0	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	0	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	0	-5/2	
	2(1/4)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	2	0	3/5	0	5/6	
	3(1/2)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	7/2	0	7/2	3	0	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	0	0	13/3	
5(1)	1(0)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-20/6	0	-10/3	
	2(1/4)	0	0	0	1/6	5/6	0	0	0	2	-1	0	-1/2	
	3(1/2)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	7/2	0	21/10	0	7/3	
	4(3/4)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	9/2	0	9/2	4	0	17/4	
	5(1)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	5	0	5	5	5	0	5	

Tabla 2. Resultados de la rutina de mejoramiento de políticas.

Estado (Almacenamiento)	Decisión (Extracción)	$q_i^k + \sum_{s=1}^5 P_{ij}^k v_j^k$	
		Iteración 1	Iteración 2
1	1	17.42	17.58
	2	18.02	18.18
	3	16.91	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	21.07	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 propone como óptima.

4. 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 $v = Pv + q$

cuya solución $v = (I - P)^{-1}q$ 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

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 7/6 \\ 13/6 \\ 17/6 \end{bmatrix}$$

La solución $v = (I - P)^{-1}q$ está dada por

$$v = [15.84, 17.54, 18.25, 19.75, 20.75]^t$$

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 $v = [I - \beta P]^{-1} q$ está dado por

$$v = [18.09, 19.59, 20.96, 21.96, 22.28]^T$$

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 $0, 1/4, 1/2, 3/4$ ó 1 , respectivamente, del vaso. En esta ecuación $\beta = 0.89$ 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:

$$v_i^k(m) = \max_k \left[q_i^k + \delta \sum_{j=1}^5 P_{ij}^k v_j^{k(m-1)} \right]$$

$$v_i^k(m) = \max_k \left[q_i^k + \delta \sum_{j=1}^{i-1} P_{ij}^k v_j^k(m) + \delta \sum_{j=i}^5 P_{ij}^k v_j^k(m-1) \right]$$

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 $\delta = 0.83$ 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, $v_i^k(m)$ 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					Políticas óptimas 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	4
2	4.17	5.67	6.73	7.73	8.23	4	4	4	4	4
3	6.41	7.91	9.21	10.21	10.71	4	4	4	4	4
4	8.37	9.87	11.24	12.24	12.74	4	4	4	4	4
5	10.03	11.53	12.92	13.92	14.42	4	4	4	4	4
6	11.31	12.91	14.31	15.31	15.81	4	4	4	4	4
7	12.56	14.06	15.45	16.46	16.96	4	4	4	4	4
8	13.51	15.02	16.41	17.41	17.91	4	4	4	4	4
9	14.31	15.81	17.21	18.21	18.71	4	4	4	4	4
10	14.96	16.46	17.86	18.86	19.36	4	4	4	4	4
11	16.34	17.84	19.24	20.34	20.74	4	4	4	4	4
12	17.12	18.62	20.02	21.02	21.52	4	4	4	4	4
13	17.58	19.08	20.48	21.48	21.98	4	4	4	4	4
14	17.83	19.33	20.73	21.73	22.23	4	4	4	4	4
15	17.98	19.48	20.88	21.88	22.38	4	4	4	4	4
16	18.06	19.56	20.96	21.96	22.46	4	4	4	4	4
17	18.10	19.50	21.00	22.00	22.50	4	4	4	4	4

* $k_i(m)$ es la política que maximiza $q_i^k + \delta \sum_{j=1}^5 P_{ij}^k v_j^k(m-1)$

d. El método de programación lineal

Considera 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

$$\min z = \sum_{i=1}^5 v_i^*$$

sujeito a las restricciones lineales (a). La solución de este problema se tiene en la siguiente hoja y puede observarse del valor de las variables dualas que la política óptima coincide con las obtenidas anteriormente.

Tabla 4. Método de aproximaciones sucesivas (Gauss-Seidel)

Etapas	Valores óptimos para cada estado					Política óptima para cada estado					
	m	$v_1(m)$	$v_2(m)$	$v_3(m)$	$v_4(m)$	$v_5(m)$	$k_1(m)$	$k_2(m)$	$k_3(m)$	$k_4(m)$	$k_5(m)$
0	0	0	0	0	0						
1	2.57	4.02	5.64	7.24	8.79	4	4	5	5	5	
2	5.24	7.50	9.19	10.99	12.52	4	4	4	4	4	
3	8.20	10.45	11.95	13.71	14.97	4	4	4	4	4	
4	10.56	12.63	14.13	15.73	16.79	4	4	4	4	4	
5	12.38	14.30	15.80	17.26	18.18	4	4	4	4	4	
6	13.76	15.56	17.06	18.41	19.23	4	4	4	4	4	
7	14.81	16.53	18.03	19.29	20.03	4	4	4	4	4	
8	15.61	17.25	18.75	19.96	20.64	4	4	4	4	4	
9	16.22	17.81	19.31	20.46	21.10	4	4	4	4	4	
10	16.68	18.24	19.73	20.86	21.45	4	4	4	4	4	
11	17.51	19.04	20.48	21.53	22.08	4	4	4	4	4	
12	17.88	19.39	20.81	21.83	22.35	4	4	4	4	4	
13	18.04	19.85	20.86	21.97	22.48	4	4	4	4	4	
14	18.12	19.62	22.03	22.53	22.53	4	4	4	4	4	
15	18.15	19.65	21.05	22.05	22.56	4	4	4	4	4	
16	18.16	19.67	21.07	22.07	22.57	4	4	4	4	4	
17	18.17	19.67	21.07	22.07	22.57	4	4	4	4	4	

MS LO:	3.50000000				
MS UP:	+INF				
GE	15	-0.139400000 F V1	-0.27000000 F V2	0.72000000 F V3	-0.13940000 F V4
MS LO:	3.33300000				
MS UP:	+INF				
GE	16	-0.415000000 F V1	-0.27000000 F V2	0.861600000 F V3	
MS LO:	3.33300000				
MS UP:	+INF				
GE	17	-0.616000000 F V4	-0.27000000 F V2		
MS LO:	-2.50000000				
MS UP:	+INF				
GE	18	-0.139400000 F V3	0.00000000 F V4	-0.001700000 F V5	
MS LO:	0.93300000				
MS UP:	+INF				
GE	19	-0.139400000 F V2	0.72000000 F V4	-0.415000000 F V5	
MS LO:	3.25000000				
MS UP:	+INF				
GE	20	-0.139400000 F V1	-0.270000000 F V3	0.720000000 F V4	-0.139400000 F V5
MS LO:	4.50000000				
MS UP:	+INF				
GE	21	-0.139400000 F V1	-0.270000000 F V2	-0.270000000 F V3	0.661000000 F V4
MS LO:	4.33300000				
MS UP:	+INF				
GE	22	-0.170000000 F V5			
MS LO:	-3.33300000				
MS UP:	+INF				
GE	23	-0.139400000 F V4	0.300000000 F V5		
MS LO:	-1.50000000				
MS UP:	+INF				
GE	24	-0.130400000 F V3	0.300000000 F V5		
MS LO:	2.33300000				
MS UP:	+INF				
GE	25	-0.139400000 F V2	-0.270000000 F V4	0.861600000 F V5	
MS LO:	4.25000000				
MS UP:	+INF				
GE	26	-0.139400000 F V1	-0.270000000 F V3	-0.270000000 F V4	0.661000000 F V5
MS LO:	5.10000000				
MS UP:	+INF				

END EQUATION LISTING

A. Convergencia de los métodos de solución

Considere el espacio de matrices de orden $n \times n$ cuyos elementos son reales y suponga que introducimos el concepto de distancia en este espacio por medio de la norma

$$\|P\| = \max_{j=1, \dots, n} \left\{ \sum_{i=1}^n |P_{ij}| \right\}$$

Si $P = [P_{ij}]$ es una matriz de transición se tiene que $\|P\| = 1$. Asimismo, si P^n es la matriz de transición de n pasos sabemos que $\|P^n\| = 1$. Sin embargo, si $0 < \delta < 1$ es un factor de descuento, la matriz $(\delta P)^n$ satisface $\|(\delta P)^n\| = \delta^n$ y se implica

$$0 = \lim_{n \rightarrow \infty} \|(\delta P)^n\|$$

que equivale a $0 = \lim_{n \rightarrow \infty} (\delta P)^n$. Como consecuencia tenemos:

Proposición 1. Sea P matriz de transición y $0 < \delta < 1$ factor de descuento. Entonces la matriz $[I - \delta P]$ tiene inversa y

$$[I - \delta P]^{-1} = \sum_{i=0}^{\infty} (\delta P)^i$$

Prueba. Empezaremos por hacer notar que

$$I - (\delta P)^N = [I - \delta P] \sum_{i=0}^{N-1} (\delta P)^i = \sum_{i=0}^{N-1} I (\delta P)^i - \sum_{i=0}^{N-1} I (\delta P)^i [\delta P]$$

De donde al N tender a infinito se tiene que $(\delta P)^N$ tiende a (la matriz) cero y la inversa de $[I - \delta P]$ es como se postuló.

Considere la fórmula recursiva

$$(1) \quad U(n) = \max_k \left[q^k + \delta P^k U(n-1) \right] \quad n=1, 2, \dots$$

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, $0 < \delta < 1$ 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

$$U(n) = q + \delta P U(n-1)$$

para toda n . Sin embargo, esto equivale a

$$U(n) = q + \delta P U(n-1)$$

$$U(n-1) = q + \delta P U(n-2)$$

$$U(1) = q + \delta P U(0)$$

y se tiene que

$$U(n) = q + (\delta P)q + (\delta P)^2 q + (\delta P)^3 q + \dots + [I + \delta P + (\delta P)^2 + (\delta P)^3 + \dots] U(0)$$

pero, debido a la proposición 1, podemos implicar que

$$U = [I - \delta P]^{-1} q$$

donde $U = \lim_{n \rightarrow \infty} U(n)$.

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 requiera 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 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 ($0 \leq \beta < 1$); 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

$$Tv = q^{k_1} + \beta P^{k_1} v, \quad Tu = q^{k_2} + \beta P^{k_2} u$$

Asimismo, se observa que

$$Tv - Tu = \max_k [q^k + \beta P^k v] - q^{k_2} - \beta P^{k_2} u$$

42

$$\geq q^{k_2} + \beta P^{k_2} v - q^{k_2} - \beta P^{k_2} u = \beta P^{k_2} [v - u]$$

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.**

FUNDEMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

UN EJEMPLO DE DINAMICA DE SISTEMAS

M. en C. Marcial

OCTUBRE, 1982

I N T R O D U C C I O N

El propósito del presente estudio es la realización de un modelo matemático que por sus condiciones sea aplicable a la República Mexicana, conjugando en él todos aquellos factores que son determinantes en su desarrollo socio-económico, es decir, un modelo que sea capaz de reproducir el comportamiento que han observado en los últimos años la industrialización, el crecimiento demográfico, la producción de alimentos, el agotamiento de los recursos no renovables y el deterioro del medio ambiente; para poder entonces prever tales tendencias de comportamiento de estos factores por lo que resta del siglo XX y para el XXI.

Obtenido el modelo se practicaron diversos ensayos que simularán las tendencias del comportamiento de cada uno de los ya mencionados factores, comportamientos que son debidos a las variadas influencias políticas que se presentan en un momento dado de la vida de nuestro país y que son tomados como parámetros al sistema.

Entre las muchas razones que motivaron la realización de este estudio se encuentra una que consideramos es la aportación que arroja este trabajo: demostrar que la aplicación de la ingeniería dentro del desarrollo tanto económico como social no es de rechazar se sino que debe por su natural exactitud, tomarse como base para conseguir la creación de una metodología que pueda ser utilizada --

México en 1977 es un país que presenta características muy especiales que dan lugar a grandes polémicas. Se encuentra en un momento crítico en su historia que implica grandes cambios en su estructura política, social y económica. Debido al alto crecimiento demográfico que presente (3.5% anual), se visualizan grandes problemas para lograr satisfacer la demanda de alimentos, servicios, educación, así como la creación de nuevas fuentes de trabajo. Por otro lado México, cuenta con una gran riqueza en recursos naturales no renovables, extensos litorales, grandes bosques y tierras apropiadas para el cultivo - que con una correcta planeación en el aprovechamiento de estos recursos, México pueda satisfacer las demandas antes mencionadas provo-

cando con esto que la economía evolucione a la par del crecimiento demográfico.

1.5.2 ESPECIFICACION DEL MODELO

Para que el modelo tenga utilidad debe ser capaz de establecer posibles hechos futuros, debido a lo cual puede ser de tres modalidades:

- a) Modelos que hagan predicciones precisas y absolutas. Por ejemplo, establecer el número exacto de habitantes que habrá en el año 2000, o la cantidad exacta de hectáreas cultivadas en ese año.
- b) Modelos que hagan predicciones condicionales y precisas - por ejemplo, determinar el número de habitantes que habrá en el año 2000 si el número de hijos por familia se reduce a dos, ó la cantidad de contaminación persistente en el medio ambiente si se elimina el uso de determinados materiales que son altamente contaminantes.
- c) Modelos que hagan predicciones condicionales e imprecisas, por ejemplo, si la mortalidad desciende y la natalidad se mantiene estable, la población tenderá a crecer en una forma notoria; o si la población, la industrialización y los servicios aumentan, la cantidad de recursos descenderá notablemente aunque no es posible precisar en cuanto.

Analizando las características de cada uno de estos modelos y dada la naturaleza de nuestro sistema preferimos usar modelos del tercer tipo por dos razones:

- a) Los modelos socio-económicos, son por naturaleza impredecibles totalmente, debido a que cualquier predicción acerca del futuro de este tipo de sistemas es influido por diferentes políticas aleatorias.
- b) La información de tipo social por su propia naturaleza es Inexacta e Incompleta y consecuentemente, la elaboración de modelos de los dos primeros tipos no parecen metas fáciles de lograr para modelos de estos tipos de sistemas a largo plazo. Por lo tanto el propósito del presente modelo será establecer — en forma aproximada — las interacciones causales que existen en el sistema socio-económico — para poder elaborar políticas adecuadas de desarrollo aplicando para ello el tercer método.

1.5.3 DEFINICION DEL TIEMPO DE SIMULACION

El tiempo de simulación se define como el tiempo necesario para que el sistema manifieste su comportamiento y responda completamente a algunas políticas de planeación propuestas. En el caso de cada sector se escogió un período de 100 años y para el modelo general un período de 200 años, iniciándose todas las simulaciones en el año 1900 y terminando en los años 2000 y 2100 respectivamente. El comportamiento del modelo en el período 1900 - 1977 es llamado el comporta-

Los recursos no renovables, capítulo 5, que representa el combustible y el suministros de materiales para la industria y la agricultura. La contaminación, capítulo 6, que estudia los efectos nocivos en el medio ambiente producidos por la industria y la agricultura y que reducen - la esperanza de vida, la productividad agrícola o la habilidad normal - de los ecosistemas de absorber los contaminantes.

La figura 1.1 ilustra esquemáticamente los cinco sectores - del modelo y las más importantes interacciones que se presentan entre ellos.

Las corridas particulares de los modelos creados para cada - sector se componen de variables endógenas y exógenas. Siendo las variables endógenas las que dependen del comportamiento del sistema y - lo afectan constantemente. Mientras que las exógenas afectan al sistema, pero no son alteradas por el mismo, representando éstas las influencias que cada sector recibe de los demás. Al unir todos estos modelos - Capítulo 7 - dichas variables exógenas quedan excluidas debido a que estos valores exógenos son ahora generados dinámicamente por alguno o algunos de los otros modelos del sistema, logrando la integración de éste.

1.5.5 POSTULACION DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO

Habiendo identificado los elementos más relevantes del sistema, necesitamos especificar todas las relaciones importantes que interconectan a estos elementos para formar un sistema. Nosotros realiza-

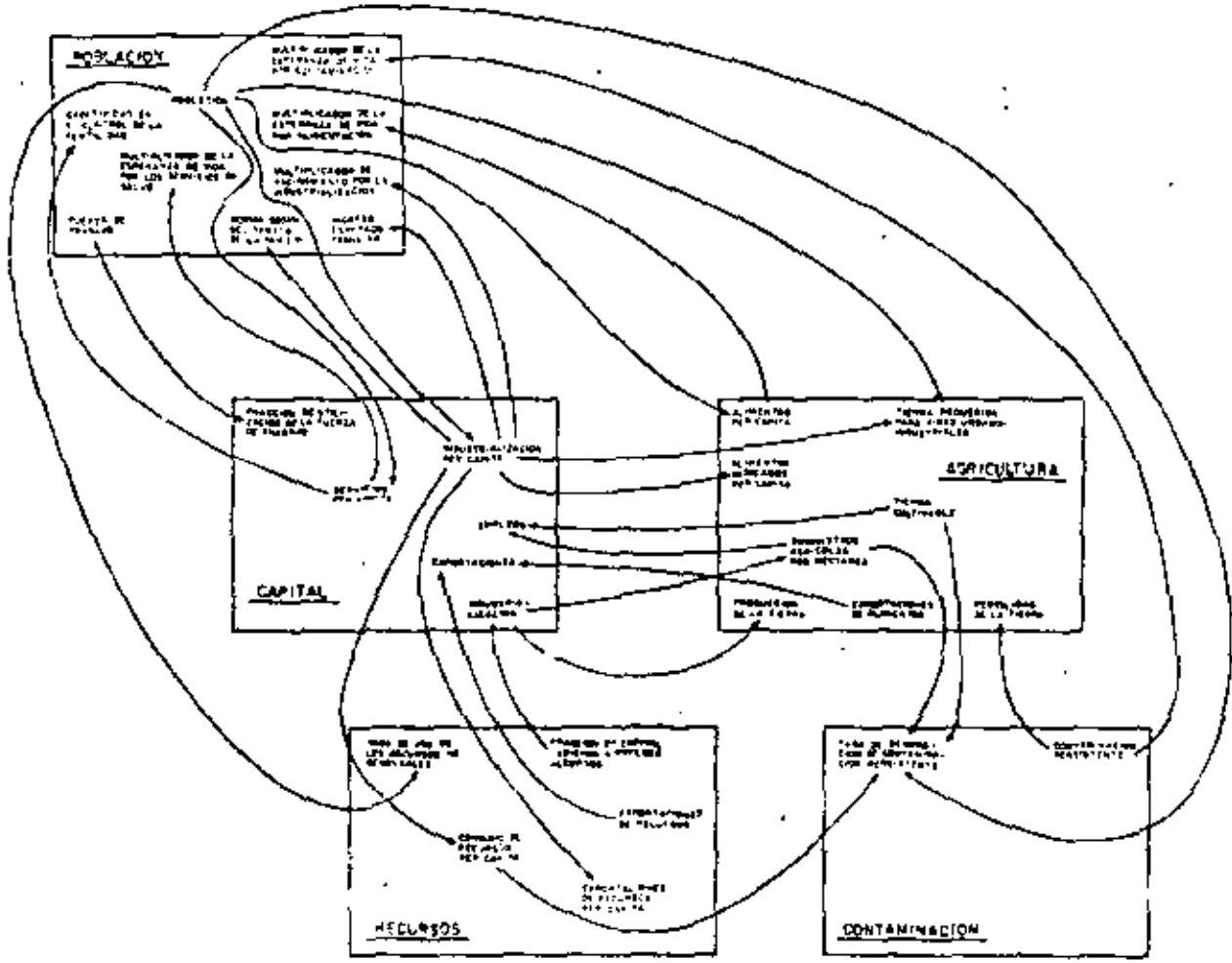


FIGURA #1.1.- Interrelación entre los cinco sectores del Modelo.

mos esto en dos pasos, para incrementar la precisión. Primero, postulación de la estructura general del sistema, segundo, estimación de los valores numéricos de los parámetros que cuantifican esta estructurra. Los patrones que usamos para llevar a cabo este proceso son discutidos aquí. Las ecuaciones y parámetros resultantes son tratados en detalle en los capítulos 2 al 6.

Las suposiciones estructurales expresan los eslabones causaeles generales entre los elementos del modelo, indicando cuales elementos son afectados por cambios en otros elementos. Los siguientes son ejemplos de las suposiciones estructurales incluidas en el modelo.

- 1.- Un incremento en los alimentos per cápita causará un incremento en la esperanza de vida, si todos los otros factores permanecen constantes.
- 2.- Un incremento en los alimentos per cápita causará unadisminución en el porcentaje de la industrialización dedicada a la agricultura y un incremento en las inversiones hechas en servicios e industrialización.
- 3.- Un incremento en el número de hectáreas de tierra cultivada causará un incremento en la producción de alimentos y por esto un incremento en los alimentos per cápita, todos siendo iguales.

Dado que las suposiciones estructurales no son cuantitativas,

no son suficiente base para proyectar el comportamiento futuro del sistema. Cada uno debe ser cuantificado por medio de consideraciones paramétricas. Por ejemplo, una consideración paramétrica ha de ser su-
mada al modelo para indicar el número exacto de años que podrían ser sumadas a la esperanza de vida si los alimentos per cápita fueran incrementados de 1800 a 2500 calorías por persona por día. El proceso general de la elaboración y prueba de las consideraciones paramétricas del modelo es discutido en la sección 1.5.6.

Las consideraciones estructurales que confeccionan un modelo de un sistema dinámico son expresadas comúnmente por medio de diagramas de mallas. En un diagrama de malla, las interacciones del sistema son mostradas por flechas llevando de cada elemento a todas aquellas variables que puedan ser influenciadas por cambios en ese elemento. La polaridad de cada influencia causal es indicada por un signo (+) ó (-) cerca de la punta de la flecha. Una polaridad positiva significa que un incremento en el primer elemento causará un incremento en el segundo (y un decremento causará un decremento). Una polaridad negativa significa que un incremento en el primer elemento producirá un decremento en el segundo (y un decremento producirá un incremento). - Los diagramas causales de malla son bosquejos aproximados de las mallas de retroalimentación que interactúan en el modelo y no contienen suficiente información que permita un completo entendimiento de los posibles modos de comportamiento o para analizar el modelo en una computadora, pero nos lleva a los patrones generales de las principales inter-

acciones del modelo.

Un diagrama de flujo en DYNAMO contiene más información de la estructura del modelo que un diagrama de malla. Provee información acerca de la forma funcional usada para representar cada elemento en las ecuaciones DYNAMO del modelo. DYNAMO, el lenguaje de computadora más usado para expresar modelos de sistemas dinámicos, no es absolutamente esencial a este método, otras convenciones de diagramas de flujo y otros lenguajes de computadora pueden ser usados. Sin embargo, dado que DYNAMO fue desarrollado específicamente para representar las continuas interacciones de retroalimentación de los modelos de sistemas dinámicos, fue el lenguaje más sencillo para nosotros para usarlo en la definición de los elementos del modelo. Todos los diagramas de flujo y ecuaciones ~~elementales~~ siguen el formato DYNAMO. El diagrama de flujo en DYNAMO completo es mostrado en el capítulo 7. Las convenciones usadas en los diagramas de flujo en DYNAMO, las ecuaciones y la forma de leer los resultados de la computadora son explicados brevemente en el apéndice DYNAMO.

1.5.6. LA ESTRUCTURA DEL MODELO

Dos mallas de retroalimentación importantes en el modelo producen el potencial para el crecimiento físico exponencial en el sistema del modelo. La primera gobierna los nacimientos; la segunda determina la inversión de capital industrial. En la primera malla un incremento en el número de nacimientos incrementará la población, y el mayor nú

mero de gentes nos llevará a continuar con más nacimientos. Similarmen-
te, un incremento en la tasa de inversión de capital aumentará -
la cantidad de capital Industrial, el cual hace posible una producción-
Industrial mayor. A su tiempo, la producción industrial permite más -
Inversión, la cual incrementa la cantidad de capital aún más.

El crecimiento en población y capital es en forma exponen-
cial debido a la naturaleza de los procesos que generan a la población
y el capital. El incremento en población y capital por esto depende en
parte de la cantidad de población y capital ya presente. Siempre que -
la tasa de crecimiento de cualquier cantidad varía directamente con la
cantidad de esa cantidad, una retroalimentación positiva esta presente,
y su crecimiento será del tipo exponencial.

La existencia de una estructura causal que provee un po-
tencial para el crecimiento exponencial no significa que el potencial -
es siempre realizado. En adición a la retroalimentación positiva que-
promueve crecimiento exponencial, el modelo contiene numerosos fac-
tores ambientales, económicos y sociales que pueden balancear ó aún
sobrebalancear las fuerzas que inducen el crecimiento. Estos factores
constituyen retroalimentaciones negativas dentro del modelo del sistema.
Su relativa efectividad constantemente cambia como el crecimiento pro-
gresa, y el balance resultante entre fuerzas de crecimiento y fuerzas -
estabilizadoras continuamente cambia. En la realidad y también en el
modelo las variaciones en el conjunto de entradas provenientes del me

dio ambiente pueden producir tasas de crecimiento de la población y del capital positivas, negativas o nulas en diferentes tiempos.

Ninguna tasa de crecimiento exponencial constante fué escrita. Sin embargo cuando las fuerzas positivas son dominantes (cuando son mayores que las negativas), el modelo generará crecimiento exponencial a una tasa que variará con el tiempo.

Las retroalimentaciones negativas que pueden balancear el potencial crecimiento de la población y del capital están contenidas básicamente en los sectores; agrícola, de recursos, y contaminación del modelo en la forma de consideraciones de los límites físicos del sistema. Estos límites están representados dinámicamente, y pueden ser aumentados ó disminuídos dependiendo de lo que suceda en el modelo. El modelo incorpora las siguientes consideraciones acerca de estos límites:

1. - La cantidad de tierra potencialmente cultivable que puede ser desarrollada en cultivada por medio de sus ministros agrícolas es finita y cuando esta tierra -- cultivable disminuya el costo marginal del desarrollo de la tierra medido en términos de capital y energía se incrementará.
2. - Hay un límite para la cantidad de alimentos que pueda ser producidos en cada hectárea cultivada por año. Se puede aproximar a este límite por medio de inver-

sión en suministros agrícolas tales como fertilizantes, pesticidas y tractores, también alejar de este límite al decrementarse la producción de la tierra por contaminación y por degradación ecológica del suelo.

- 3.- La existencia de recursos naturales no renovables en la tierra es finita. El límite absoluto de disponibilidad de recursos es la cantidad total de recursos existentes en la corteza terrestre. Sin embargo el costo de extracción y explotación será mayor en la medida en que los recursos se vayan agotando.
- 4.- Hay un límite en el cual el medio ambiente puede asimilar a los contaminantes, este puede aumentar o disminuir en función de la toxicidad de los materiales.

Estos límites proveen retroalimentaciones negativas para el crecimiento de la población y el capital. Estos mecanismos de retroalimentación social están incorporados en el modelo general implícitamente y están distribuidas en los cinco modelos que representan a los cinco sectores que son incorporados al modelo general.

1.5.7 EVALUACION DE LA SENSIBILIDAD DEL MODELO. - UTILIDAD Y EXPERIMENTACION.

Numerosas simulaciones del modelo del sistema con diferentes valores de los parámetros, indican el rango de comportamiento que puede exhibir el modelo y su sensibilidad a esos cambios. A este proceso se le denomina "experimentación".

Es importante estudiar cuales son los elementos del sistema que influyen más profundamente en su comportamiento, para ejercer sobre ellos las acciones de control convenientes. Para esto es necesario observar los cambios cualitativos del comportamiento del modelo, y no tanto los cuantitativos. Ya que podrán existir, por ejemplo, variaciones que provoquen que la población en México en lugar de llegar a 120 millones aproximadamente en el año 2000 llegue hasta 140 millones o más; sin embargo, su rápido crecimiento exponencial no habrá variado en forma substancial. En cambio se pueden hacer pequeños cambios que provoquen que la población se mantenga en un valor estacionario. A estos parámetros se les deberá poner mayor atención en su estimación.

Existen puntos, generalmente en la intersección de muchas mallas positivas y negativas, donde un pequeño cambio en los valores numéricos puede cambiar la dominancia relativa de las mallas. Esto provocará que la tendencia del sistema completo crezca o decline.

Un concepto importante al analizar un modelo dinámico, es localizar estos puntos, porque ellos indican relaciones en las cuales se debe profundizar en su investigación para entender mejor el sistema. Y a su vez, estos puntos también indican las variables del sistema donde nuevas políticas pueden ser efectivas para alterar su comportamiento.

Para juzgar la utilidad del modelo es preciso basarse en las

siguientes condiciones:

- 1.- Cada suposición del modelo deberá ser consistente con medidas directas u observaciones del sistema real. Ninguna suposición o parámetro sin significado en el mundo real- deberá ser incluida.
- 2.- Cuando el modelo simule el período histórico, el comportamiento de cada variable debe ser similar al que muestra- en la realidad. Cuando el sistema sea simulado en el fu- turo, cada variable deberá seguir un comportamiento razo- nable dentro de un rango de valores aceptable.
- 3.- El modelo deberá ser suficientemente simple para que las razones de su comportamiento puedan ser comprendidas- y sean generalmente principios que se puedan aplicar al- sistema real.

1.5.8 LIMITES FISICOS DEL MODELO

Existe un grupo de valores en ciertos parámetros del mode- lo que son de particular importancia, debido a que el comportamiento del modelo es sensitivo a sus valores y porque sus estimaciones refle- jan directamente el comportamiento ecológico o tecnológico del modelo. Estos son los valores que expresan los límites físicos en el modelo. - Al intentar asignar valores límites a los parámetros que son relevan- tes con los recursos del país, se deberá tener en consideración lo si- guiente:

- 1. - Tierra potencialmente cultivable - 30.06 millones de hectáreas - o sea un 40% más de lo que se cultiva - actualmente.
- 2. - Producción máxima por hectárea - 6000 kilogramos de vegetal equivalente/hectárea - año - ó 2.5 veces el promedio de producción del país en 1970.
- 3. - Recursos naturales no renovables (cantidad total explotable) - 27 mil millones de unidades de recurso - o sea 10 veces más de lo extraído hasta 1970.
- 4. - Tasa de asimilación de la contaminación persistente -- (por año) - 25 veces la cantidad de contaminación asimilada por los ecosistemas en 1970.

Nuestra justificación de estos valores y las pruebas de valores posibles son presentados en la sección de la descripción de las ecuaciones de cada sector. Creemos que los valores asignados representan una posición optimistas desde el punto de vista tanto ecológico como tecnológico.

2.1 INTRODUCCION

El intento en el presente estudio es el de establecer la relación existente entre ciertos parámetros tales como la esperanza de vida, los nacimientos por año, las muertes por año, la fertilidad, la industrialización, etc. y que permite que la población se desarrolle como lo ha estado haciendo en los últimos años: exponencial. Manejando estas variables dinámicamente se puede simular su comportamiento a través del tiempo con la ayuda de la computadora y se podrá comprobar entonces si el modelo creado cumple con el desarrollo que ha tenido la población en un tiempo determinado, y si esto se logra, este modelo será capaz de mostrar tendencias de crecimiento para la población en los años futuros. Más aún, estaremos en la posibilidad de crear políticas artificiales de control de dicho crecimiento, modificando simplemente las constantes que intervengan en el modelo.

Estudios de este tipo han sido ya realizados por investigadores e instituciones reconocidas mundialmente, y todos ellos responden a la inquietud e incertidumbre de nuestra situación en el futuro. En México poco a poco nos hacemos conscientes de esta situación, así lo indican artículos publicados recientemente: "En 1980, de una población compuesta por 73 millones de habitantes, 40 millones vivirán en las ciudades" (1), "8,020 niños nacen al día en México" (2), "Ya hay una mayor conciencia del problema demográfico en la pareja mexicana dicen . . ." (3). ¿Qué provoca este au--

mento exponencial de la población mundial y por tanto la mexicana? Los servicios para conservar la salud han aumentado desde la Revolución Industrial, las tasas de mortalidad han descendido notablemente, y las tasas de natalidad han aumentado considerablemente, - el promedio de vida del ser humano debido al cambio en las tasas, - es mayor cada vez. En México, "La mayoría de quienes será padres de familia en el año 2000 ya nacieron" (4).

Un profesor de la Universidad Nacional Autónoma de México afirma:

"Especial atención merece el área metropolitana de la Ciudad de México, tanto porque en ella vivimos, cuanto porque es una de las zonas urbanas con más rápida expansión en el mundo. Si México en su conjunto ostenta el primer lugar de la tierra por su crecimiento demográfico del 3.5% anual, su zona metropolitana capital - - desborda cualquier competencia pues casi lo duplica con el ¡ 5.7% - - anual! Esto quiere decir que su población se duplica cada 12 años - y con ella, si se quiere mantener solamente el nivel de vida actual, - se tendrían que duplicar a su vez, el área que actualmente ocupa, - el ancho de sus calles; el servicio de transportes y viaductos; sus escuelas, bibliotecas, centros de servicio social, parques, servicio de - agua y de energía eléctrica. ¡Todos ellos duplicados en el lapso de - dos períodos presidenciales ! " (5.)

Realmente nos parece que el crecimiento de la población - - tanto en México como en el mundo es un hecho que se tiene que -

tomar en cuenta, y hay que tratar de frenarlo, ya que va en juego el destino de las próximas generaciones.

2.2 CONCEPTOS UTILIZADOS

Para poder determinar un modelo dinámico, en este caso el de la población, habrá que definir primero un objetivo, posteriormente el planteamiento del problema, su medición, el análisis de datos y la elaboración del modelo que lo simule. Para finalizar, habrá que sacar conclusiones aplicables a dicho sistema analizado.

Para alcanzar el objetivo mencionado se necesitan ciertos -- conceptos básicos que son con los que se trabajará y los que definirán las variables que afectan a la población.

2.2.1 CRECIMIENTO EXPONENCIAL

Algo que ha caracterizado a las poblaciones de los diferentes países en vías de desarrollo, como lo es México, es el alto crecimiento exponencial. Esto lo podemos observar claramente en la figura 2.1 donde se ha graficado la población de México contra el tiempo comenzando en 1900 y terminando en el año de 1970 según datos de Nacional Financiera. Se puede ver claramente que si quisiéramos simular este comportamiento bastaría con una ecuación exponencial del tipo:

$$POBT = (POBTI) \text{EXP} ((TC) (T))$$

donde POBT es la población total, POBTI es la población inicial en 1900, (13.6 millones), TC es la tasa de crecimiento y T es el número de años después de 1900.

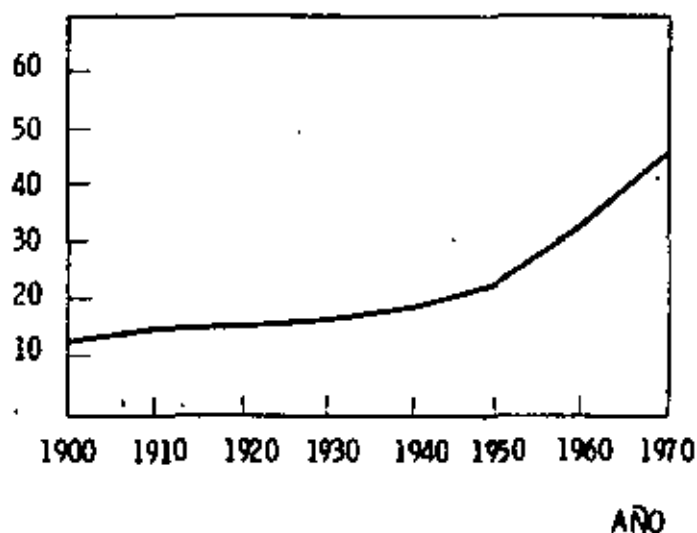


FIGURA # 2.1.- Gráfica de la Población de México.

Esta ecuación exponencial es bastante aproximada, pero si solamente nuestro modelo fuera esta ecuación exponencial, no sabríamos nada de las causas de dicho crecimiento, cosa que se pretende conocer aquí.

2.2.2. TASA DE CRECIMIENTO

Podemos empezar analizando la tasa de crecimiento, que --

queda definida como la tasa de natalidad menos la tasa de mortalidad; es obvio que para que exista un crecimiento, la tasa de natalidad debe ser mayor a la tasa de mortalidad,

Es importante señalar que el crecimiento de la población está regulado únicamente por dos factores, los nacimientos y las muertes, su influencia queda aclarada en la figura 2.2. Se observa que los nacimientos aumentan la población y las muertes la disminuyen; - - cuando una variable se aumenta y disminuye por efecto de otras dos - - se dice que dicha variable es de nivel, y de ahora en adelante conoceremos a la población como una variable de nivel.

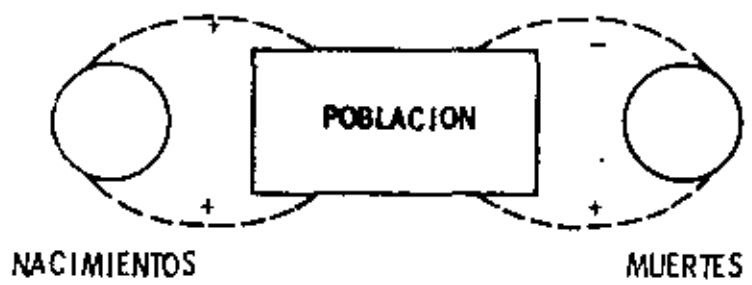


FIGURA # 2.2.- Esquema Causal de la Población.

2.2.3 SUBNIVELES DE POBLACION

Ahora bien, nuestro interés no es tan solo cuantificar cuantos somos, sino encontrar las razones del crecimiento, dado lo cual desglosaremos la variable población en 15 subniveles cada uno de ellos agrupando a la población en rangos de edad.

Las razones por las que se escogió un modelo con 15 subniveles son las siguientes:

a) Teniendo una estructura de 15 niveles para estudiar a la población, se puede establecer más fácilmente la probabilidad de vida de cada nivel, ya que dicha probabilidad es distinta en un niño que en un adulto.

b) Aprovechando la distribución en niveles se puede primero identificar a aquellos grupos de edad en los que se encuentran las mujeres fértiles. Posteriormente se le asigna a cada grupo una probabilidad de fecundidad, de una manera más exacta.

c) Es posible obtener también la población económicamente activa del país como una sumatoria de aquellos niveles de población que incluyan el rango de edad entre los 15 y los 65 años. En el capítulo 3 se explica esta sumatoria en más detalle.

Observando las figuras 2.3 y 2.4 se puede interpretar más fácilmente esta estructura de 15 niveles, en la figura 2.3 se muestra la pirámide de la población de México, en el eje de las abscisas se tiene el porcentaje de población total que cada rango de edad o nivel tiene; en el eje de las ordenadas están dichos niveles. Como se vé,

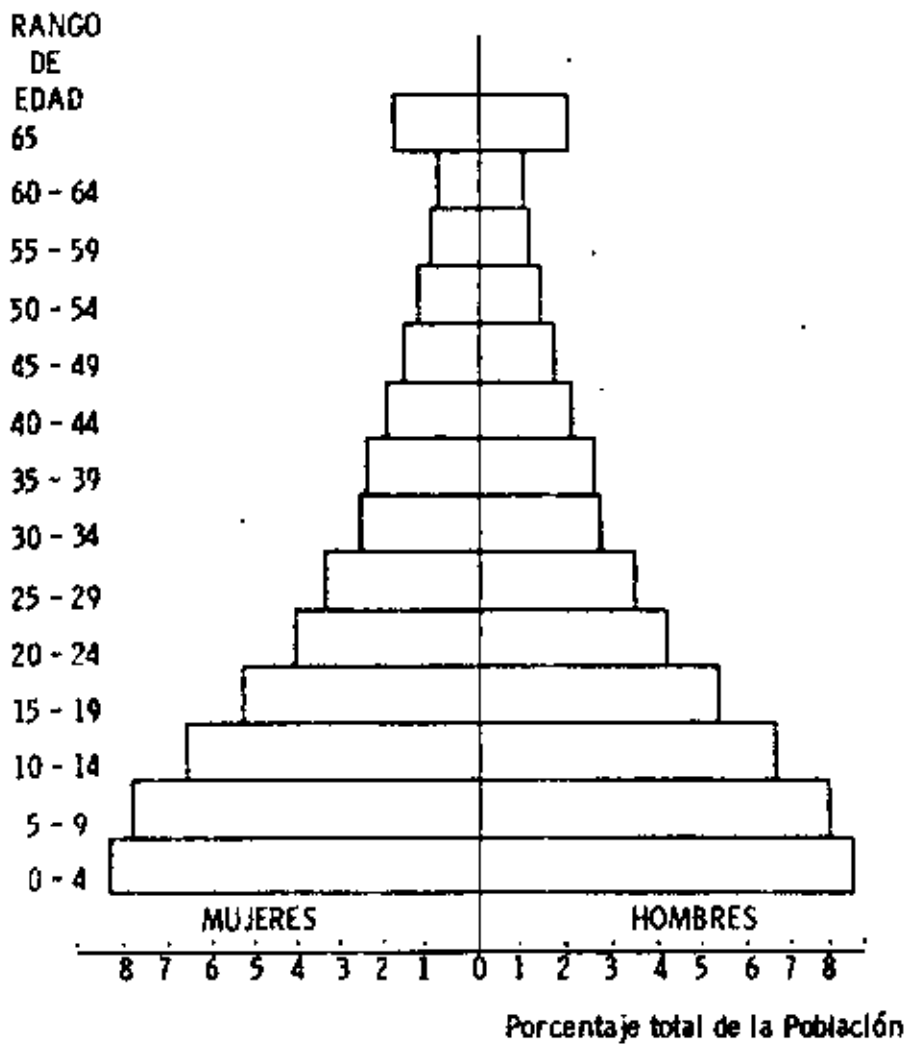


FIGURA # 2.3.- Pirámide de la Población de México en 1970 por rangos de edad.

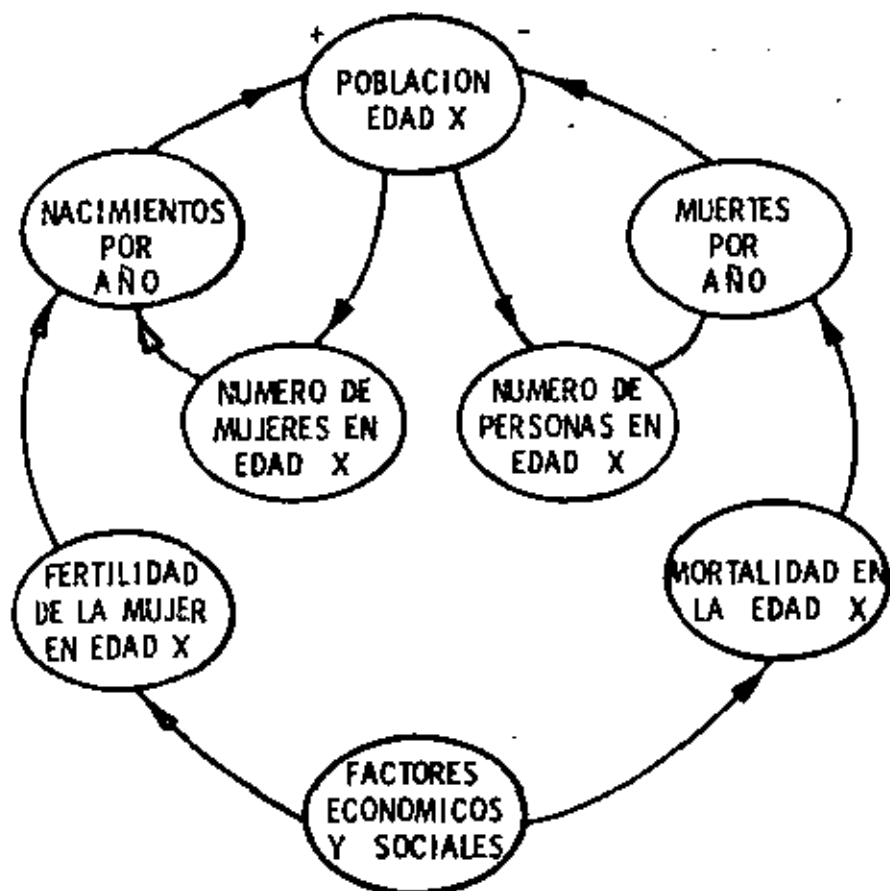


FIGURA # 2.4.- Esquema causal de la Población dividida en niveles por rangos de edad.

debido a que la tasa de natalidad es bastante alta se crea una pirámide en forma de triángulo con una base muy ancha.

La estructura en edades de la población es un resultado de los pasados nacimientos y muertes de personas, y es causada al mismo tiempo de los próximos nacimientos y muertes.

2.2.4 FERTILIDAD, NATALIDAD Y MORTALIDAD

El número de nacimientos en cualquier año es función de dos cosas: del promedio de fertilidad de cada mujer en etapa reproductiva (de los 15 a los 45 años aproximadamente) y del total de mujeres en dicho período.

Una pirámide de población como la de México implica que en 15 años, más mujeres alcanzarán la etapa de la pubertad que mujeres que lleguen a su menopausia. Esto quiere decir que aunque la fertilidad disminuyese, el número de mujeres totales en la etapa reproductiva haría que la tasa de natalidad siguiera aumentando por muchos años más. (6).

Podemos ahora tratar de encontrar aquellos determinantes que afectan los nacimientos y las muertes.

Existe desde luego el determinante demográfico que en el caso de los nacimientos está constituido por el número de mujeres en cada subnivel; en el caso de las muertes, es simplemente el número de personas en dichos niveles.

Cada determinante demográfico está afectado por determinan-

tes externos tales como la fertilidad y la mortalidad, y éstos son -- los que engloban o reflejan todas las influencias socio-económicas que afectan las tasas de vida.

La mortalidad es la probabilidad de cada persona en un nivel dado de morir.

En la figura 2.5 y 2.6 se muestra el esquema de lo explicado anteriormente.

¿Cuáles son los factores externos que afectan la fertilidad y la mortalidad?

Estos pueden ser biológicos, sociales y económicos y a su vez pueden ser voluntarios o involuntarios, y aquellos factores de control que pueden usarse para modificarlos.

En la fertilidad intervienen factores voluntarios como lo -- son la fertilidad deseada, que significa que una pareja tendrá hijos sólo cuando esta lo decida.

El factor involuntario que afecta la fertilidad es la limita- -- ción misma de la mujer de tener un máximo de hijos durante su período reproductivo.

El control impuesto sobre la fertilidad está dado por casa- -- mientos tardíos, abortos y anticonceptivos, actuando los controles -- siempre y cuando éste se necesite y se haya presupuestado para lo -- grarlo.

En el caso de la mortalidad, el factor voluntario no tendría significado, ya que posiblemente sería cero y no se aplicaría, --

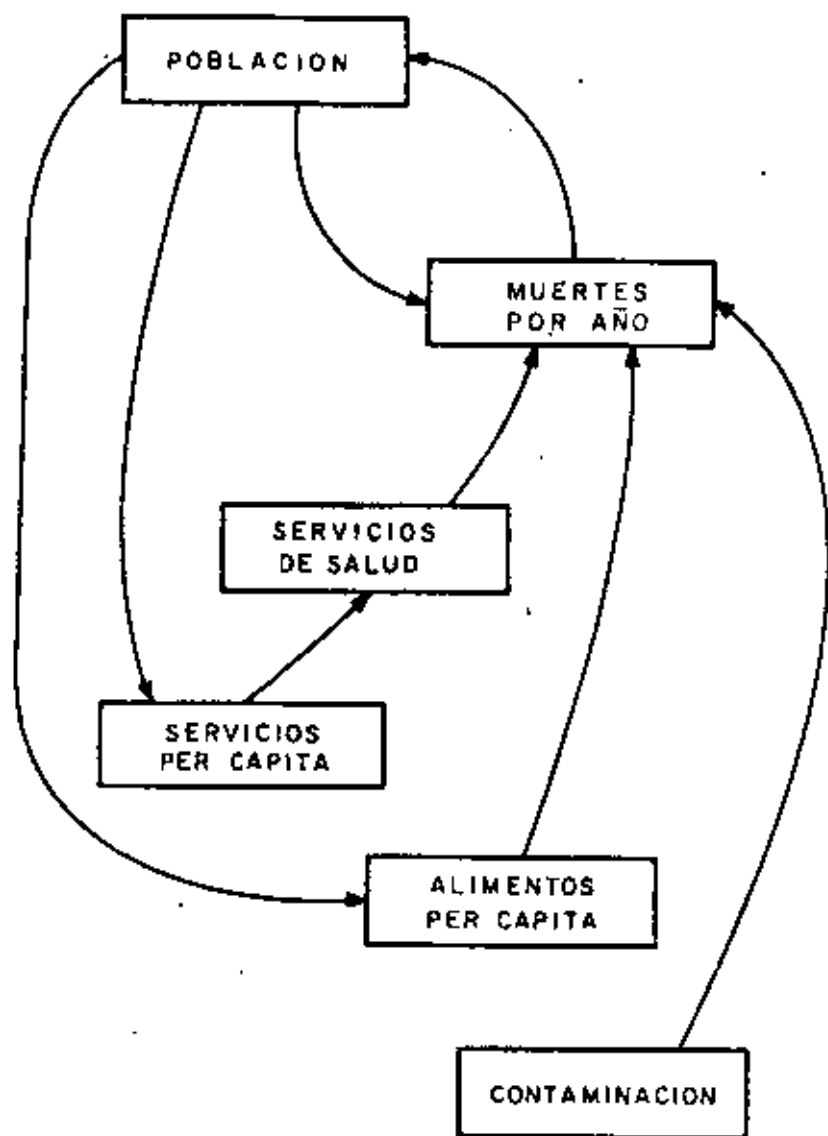


Figura # 2.5. - Influencia de la Mortalidad en el Modelo.

y los factores involuntarios serían aquellos como la contaminación, la falta de alimentos y la excesiva conglomeración de personas, en los distintos núcleos de población. Un control sobre la mortalidad lo constituyen los servicios dedicados al mejoramiento de la salud y a la preservación de ésta.

Un factor que afecta de manera determinante a la fertilidad y a la mortalidad es la industrialización, su efecto se deja sentir - en los demás factores externos que afectan a los nacimientos y las muertes. La industrialización, son los productos elaborados, las - medicinas, los alimentos conservados, los desechos industriales -- son contaminación, los empleos son creados por industrias nuevas, las comunicaciones son una industria, y vivimos en una sociedad de consumo "la población no puede crecer sin alimentos, la producción de alimentos aumenta con el crecimiento del capital, más - capital exige más recursos, los recursos desechados se convierten - en contaminación, la contaminación interfiere en el crecimiento de la población y de los alimentos" (7).

2.2.5 ESPERANZA DE VIDA .

Finalmente, encontramos un concepto más que es el de la - esperanza de vida, es el promedio de vida de la población en gene-- ral, y es la que junta los efectos externos que afectan a la mortali-- dad y al límite máximo de la fertilidad.

Cuatro factores afectarán entonces a la esperanza de vida, - que como ya se ha dicho son la contaminación, los servicios dedica

dos a la salud, los alimentos existentes y el hacinamiento (conglomeración de las personas en las ciudades), de su interrelación se hablará en más detalle en la sección de Descripción de las Ecuaciones.

2.4.1. CORRIDA HISTORICA.-

La simulación mostrada en la figura 2.25, representa el comportamiento histórico cualitativo de las variables de población (P) Esperanza de Vida (E), Nacimientos por Año (N), Muertes por Año -

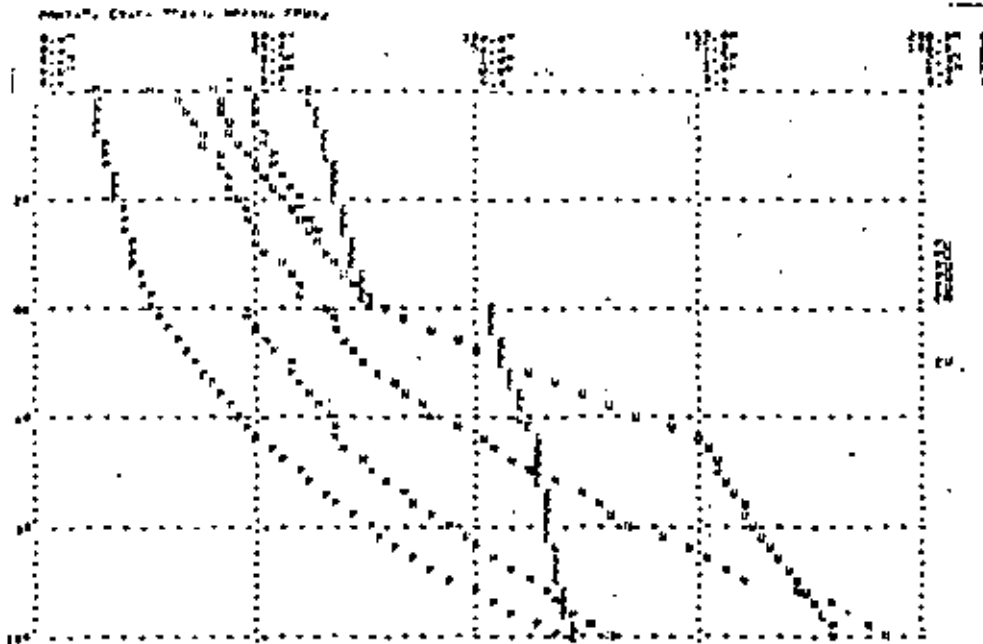


FIGURA # 2.25.- Corrida Histórica del Sector de Población.

POBT	(P)	Población Total
EV	(E)	Esperanza de Vida
MPA	(M)	Muertes por Año
NPA	(N)	Nacimientos por Año
FPU	(U)	Fracción de Población Urbana

(M), y Fracción de Población Urbana (U). Debido a la falta de espacio no pudimos incluir en este trabajo la representación gráfica de más variables.

Esta corrida como todas las otras comienza en el año de 1900 hasta el año 2000, y fué hecha suponiendo que la industrialización, los servicios y la alimentación crecen exponencialmente con tasas de 3.4, 3.0 y 2.3 respectivamente.

Se puede observar que el comportamiento de estas variables refleja cualitativamente el crecimiento demográfico en México. En 1940 debido a la inclusión de un impulso a los servicios de salud disminuyen sensiblemente las muertes por año y aumenta la esperanza de vida y los nacimientos por año.

Con las condiciones impuestas en esta corrida, la población en el año 2000 sobrepasaría los 100 millones y 75% de la misma estaría concentrada en las grandes ciudades.

2.4.2. CORRIDA QUE MANTIENE LA INDUSTRIALIZACION, LOS SERVICIOS Y LA ALIMENTACION CONSTANTES Y A UN BAJO NIVEL, SIN QUE HAYA CAMBIO EN LOS SERVICIOS DE SALUD EN 1940.

Para esta simulación las variables antes mencionadas per cápita han sido constantes de tal modo que el crecimiento de ellas en términos absolutos es paralelo al de la población los resultados de esta simulación se observan en la figura 2.26. Los valores de la industrialización, servicios y alimentos per cápita fueron 1000 -

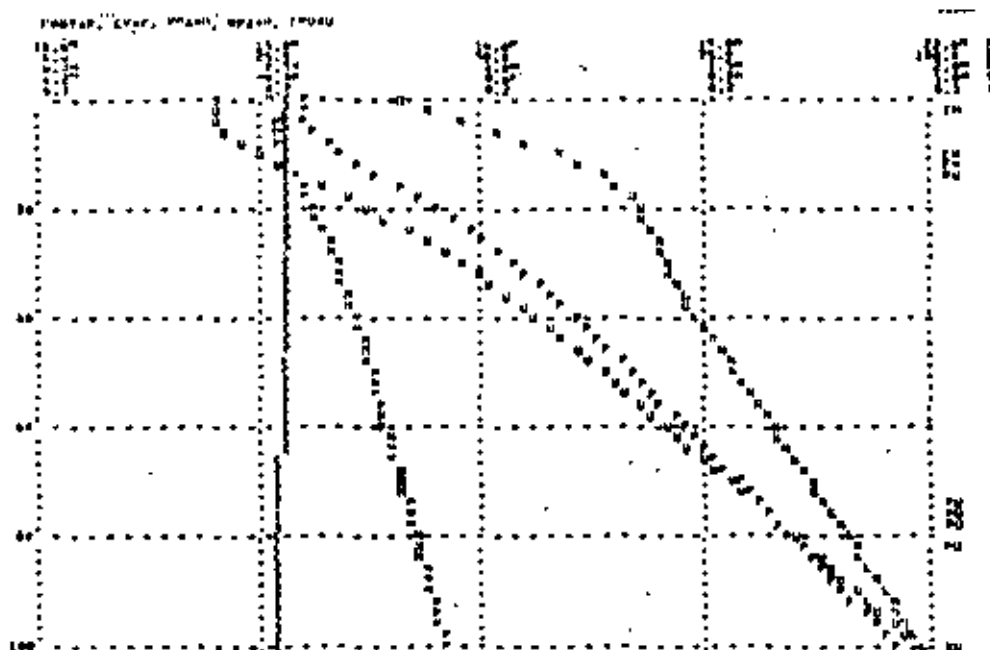


FIGURA # 2.26.- Industrialización, Servicios y Alimentación Constantes a un Valor Bajo.

POBT	(P)	Población Total
EV	(E)	Esperanza de Vida
MPA	(M)	Muertes por Año
NPA	(N)	Nacimientos por Año
FPU	(F)	Fracción de Población Urbana

38.

pesos/persona, 1900 pesos/persona y 230 kg-equivalentes vegetales/persona-año respectivamente, y corresponden a los valores que estas variables tenían al principio del crecimiento tecnológico de México.

En estas condiciones las muertes por año y los nacimientos por año son muy semejantes, estos últimos un poco mayores, provocando un crecimiento muy lento de la población hasta solo 22 millones en el año 2000. La Esperanza de Vida es mantenida en 28 años, disminuída un poco por la contaminación. La urbanización sólo estaría representada por el 30% de los habitantes. Esto sería un típico país no industrializado.

2.4.3. CORRIDA QUE MANTIENE LA INDUSTRIALIZACION, LOS SERVICIOS Y LA ALIMENTACION CONSTANTES Y A UN ALTO NIVEL.

8000 y 1000 pesos/persona-año y 850 kg.-equivalente de vegetales/persona-año, unos valores que México está muy lejos de poseer, pero que nos dan idea de que el crecimiento se ve restringido por el alto nivel de vida. La Población apenas rebasa los 35 millones, la esperanza de vida es altísima (de 75 años), los nacimientos y las muertes por año son mantenidos a bajos niveles. (Figura 2.27).

2.4.4. CORRIDA SEMEJANTE A LA 2.4.2

La diferencia que existe es que hay un impulso en la influencia de los servicios de salud en la esperanza de vida, y según

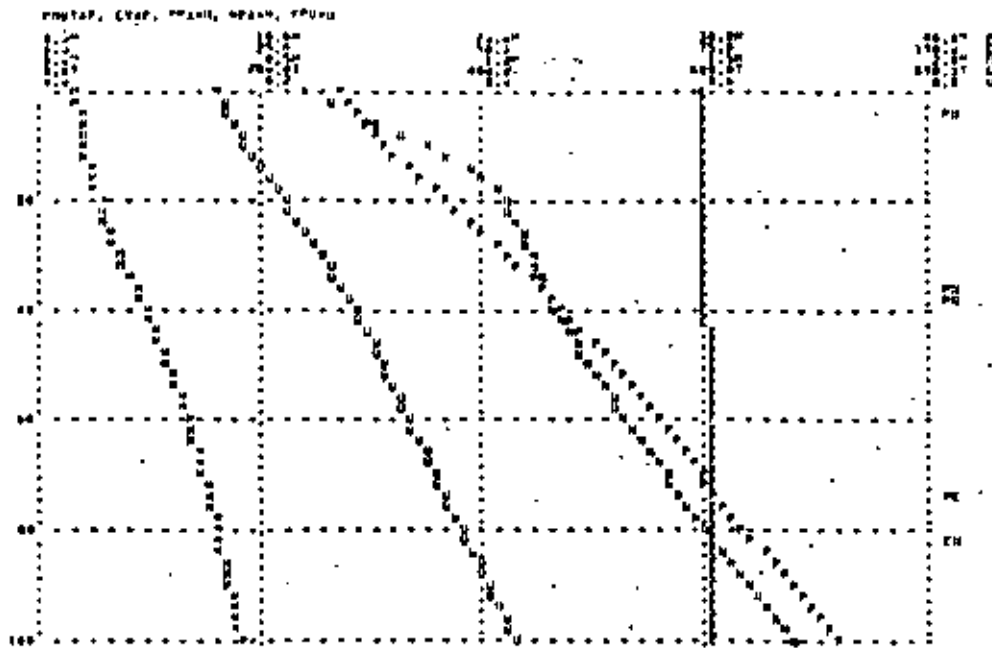


FIGURA # 2.27.- Industrialización, Servicios y Alimentación per -
Cápita constantes y a un valor alto.

POBT	(P)	Población Total
EV	(E)	Esperanza de Vida
MPA	(M)	Muerles por Año
NPA	(N)	Nacimientos por Año
FPU	(F)	Fracción de Población Urbana

los resultados, ésta aumenta hasta los 35 años pero disminuye de nuevo ya que la industrialización, y los servicios son mantenidos bajos y los efectos de la urbanización son nocivos ya que los alimentos están a un nivel de subsistencia. (Ver figura 2.28)

2.4.5. PERFECTO CONTROL DE LA NATALIDAD

Los casos anteriores no se presentan en la realidad a través del país, en cambio se presenta ahora un crecimiento exponencial como el de la corrida histórica, y si queremos controlar la población y hacemos que dicho control sea perfecto ($ECF = 1$), o sea que en realidad la tasa deseada de natalidad sea la que exista. Observaremos que el crecimiento en México no es posible evitarlo, ya que la inercia del crecimiento mismo es tal que tan solo se amortigua en menos de 6 millones el aumento de la población para el año 2000, con respecto a la estándar (ver figura 2.29).

2.4.6. TASA DESEADA DE NATALIDAD IGUAL A 2 HIJOS POR CADA MUJER.

Solamente en el caso de poder bajar de golpe la tasa deseada de natalidad a 2 hijos por mujer en 1978, se lograría hacer descender la población en su ritmo acelerado de crecimiento y lograr menos de 90 millones en el año 2000, la estabilización no se logra aún y la esperanza de vida aumenta un poco más, hasta cerca de los 70 años (Ver figura 2.30).

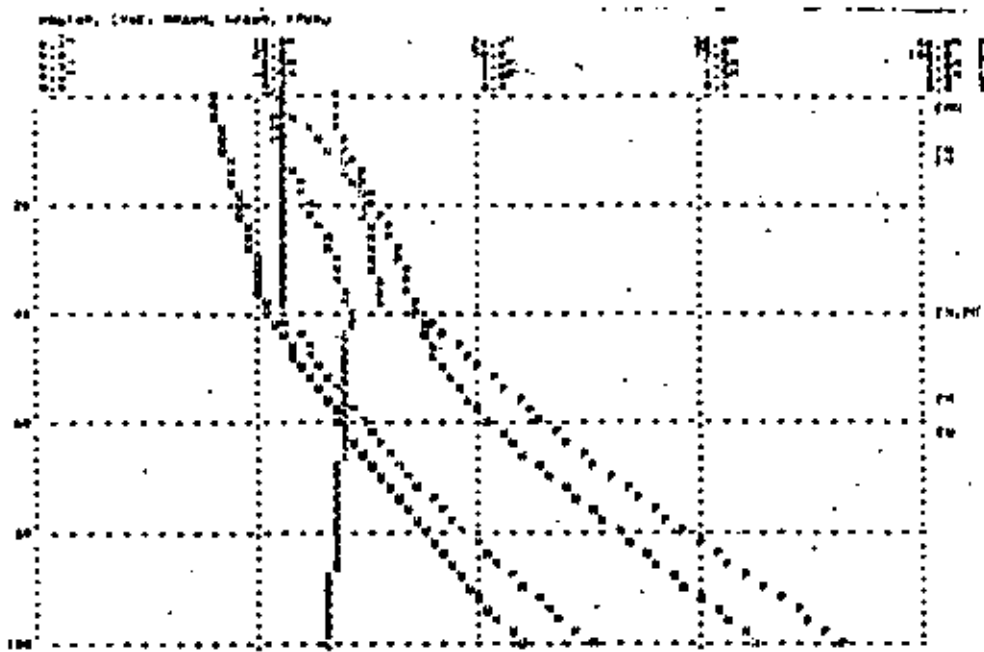


FIGURA # 2.28.- Industrialización, Servicios y Alimentos constantes con bajo valor, e Impulso en los efectos de los servicios de salud en la Esperanza de Vida.

POST	(P)	Población Total
EV	(E)	Esperanza de Vida
MPA	(M)	Muertes por Año
NPA	(N)	Nacimientos por Año
FPU	(F)	Fracción de Población Urbana

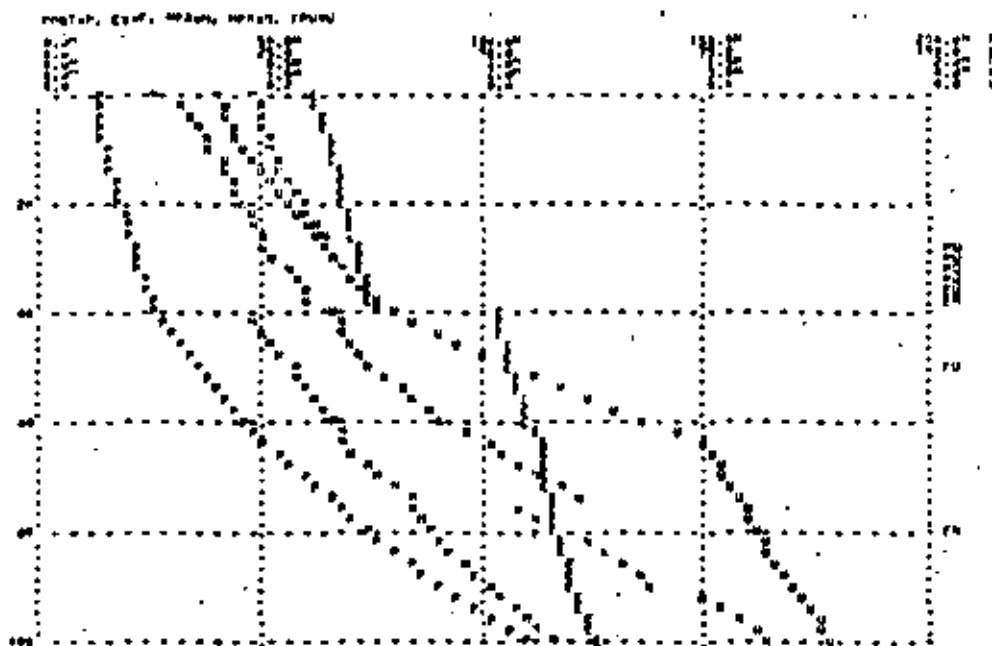


FIGURA # 2.29.- Perfil de Control de la Natalidad.

POST	(P)	Población Total
EV	(E)	Esperanza de Vida
MPA	(M)	Muertes por Año
NPA	(N)	Nacimientos por Año
FPU	(U)	Fracción de Población Urbana

3.1 INTRODUCCION

No tiene sentido estudiar los recursos de México -ni sus necesidades tampoco- si no se conoce de antemano el marco económico en el que este país se desarrolla.

La cantidad y el tipo de bienes, servicios y alimentos disponibles a un individuo influyen poderosamente en su educación, - sus valores, su salud, el tamaño de su familia y su estilo de vida. Cada una de estas características personales influirán en el conjunto de bienes y servicios, así como en las inversiones, que él preferirá en el futuro. Nuestro objetivo en el sector de inversión de capital fué el de proporcionar los componentes básicos de un modelo - que pudiera analizar la tendencia del acceso de la población a bienes materiales, servicios y alimentos.

Los economistas han aventajado a todos los demás científicos del área social en la generación y en el análisis de teorías formales, pero han considerado casi exclusivamente problemas a corto plazo. A partir de que nuestro modelo involucra el fenómeno económico que se desarrolla en períodos de treinta a cien años o más, la mayoría de los modelos económicos comunes fueron de poca utilidad en la elaboración del sector inversión de capital. Sin embargo, existen ciertos patrones en la interrelación entre los servicios, la producción industrial, el consumo de alimentos, la inversión, el comercio exterior y el consumo material en México. Nuestro propósito - en este capítulo es analizar dichos patrones y describir el conjunto-

de interrelaciones que los reproducen en el modelo.

En la siguiente sección de este capítulo presentamos algunos estudios sobre la composición del Producto Nacional Bruto, los cuales ilustrarán los patrones del comportamiento histórico que hemos utilizado en la elaboración del modelo del sector de inversión de capital. La descripción de dichos patrones es seguida por una discusión de los conceptos y definiciones que fueron empleados para formular el modelo.

En la sección 3.5 se describe cada una de las ecuaciones en DYNAMO utilizadas en el modelo; y finalmente, el capítulo cierra con algunas corridas de simulación del sector de inversión de capital auxiliado por valores exógenos para población, capital dedicado a obtener recursos, empleos agrícolas y exportaciones no industriales.

3.2 COMPORTAMIENTO HISTORICO

El índice económico más utilizado para representar la actividad productiva de un país es el Producto Nacional Bruto (PNB), definido como el valor monetario de todos los bienes y servicios producidos por un país en un año.

Otro de los conceptos más importantes en la economía es el "Producto per Cápita", que se define como "la razón del PNB de una nación a su población", un índice muy representativo del nivel de vida de un país. El incremento del producto per cápita es un valor clave para definir el grado de desarrollo que adquiere un país a lo largo del tiempo.

3.2.1 COMPOSICION DEL PRODUCTO NACIONAL BRUTO.

Para fines de contabilidad Internacional, el Producto Nacional Bruto (PNB) se ha subdividido en varias categorías. El esquema más utilizado para subdividirlo está basado en la Clasificación Industrial Internacional (ISIC). En la figura 3.1 se listan las nueve categorías mayores de la ISIC junto con las nueve subdivisiones mayores de la tercera categoría, manufacturas (1). El Banco de México se basa en esta clasificación para separar el Producto Interno Bruto de México según el tipo de actividad económica (2).

CODIGO	CLASIFICACION Y DESCRIPCION
1	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.
2	Explotación de minas y canteras.
3	Manufacturas
3.1	Productos alimenticios, bebidas y tabaco.
3.2	Fabricación de textiles, prendas de vestir y productos de cuero.
3.3	Productos de madera y fabricación de muebles.
3.4	Fabricación de papel, imprenta y editorial.
3.5	Fabricación de productos químicos, de caucho, de plástico y derivados del petróleo y del carbón.
3.6	Fabricación de productos de minerales no metálicos.
3.7	Industrias metálicas básicas.
3.8	Fabricación de productos metálicos, maquinaria y equipo.
3.9	Otras industrias de manufacturas.
4	Electricidad, gas y agua.
5	Construcción.
6	Comercio, restaurantes y hoteles.
7	Transportes, almacenaje y comunicaciones.
8	Servicios de crédito, seguros y fianzas.
9	Servicios personales, sociales y para la comunidad.

Figura 3.1 Clasificación Industrial Internacional.

Los economistas han encontrado ciertas similitudes en las diferentes categorías de la ISIC con respecto al comportamiento de las economías de diferentes países a través del tiempo. Un estudio realizado por Chenery y Taylor (3) divide el PNB en tres secciones: producción primaria, industria y servicios. En dicho estudio se consideran los productos agrícolas, mineros, forestales y pesqueros dentro del Sector Primario; los productos manufacturados, los de la industria de la construcción y otros productos materiales dentro del Sector Industrial; y dentro del Sector de Servicios, los productos bancarios, seguros, salud pública, educación y otros productos Intangibles.

Peter Temin (4) separa el PNB en una forma similar al estudio realizado por Chenery y Taylor, pero incluyendo los productos de la Minería dentro del Sector Industrial en lugar de considerarlos dentro del Sector Primario.

En ambos estudios se encontró un patrón de evolución común para todos los países analizados: mientras el PNB per cápita de un país crece, la fracción del PNB derivada del Sector Primario disminuye, la fracción del producto a partir del sector de servicios aumenta lentamente y la fracción derivada del sector industrial aumenta rápidamente.

La mayoría de las sociedades humanas presentan un grupo de prioridades común: primero, sustento fisiológico; después confort físico; y finalmente, una realización intelectual o espiritual. -

Mientras la nutrición no alcance el nivel de supervivencia, existirá un interés mínimo en vivienda o educación. Una vez que el sector agrícola ha crecido lo suficiente para satisfacer las necesidades alimenticias básicas, se podrá poner más atención en el vestido, la vivienda y otras necesidades para confort físico. Con las necesidades físicas alcanzadas a través de la expansión del sector industrial, se podrá proceder a incrementar los servicios.

3.3 CONCEPTOS Y DEFINICIONES

A partir de que se desarrolló un modelo dinámico, no fué suficiente observar los patrones históricos de la magnitud y composición del Producto Nacional; se tuvo que entender además el funcionamiento del sistema productivo bajo estos patrones. Se analizó el desarrollo económico de varios países para poder formular ciertas tendencias a seguir en el desarrollo futuro de México. Para el presente siglo bastó con estudiar su comportamiento histórico, pero como el modelo involucra un período mayor, fué necesario basar su desarrollo económico en patrones de evolución mundiales, basados éstos en un conjunto de países tipo. A continuación se describen los conceptos fundamentales y las definiciones que se encontraron útiles para modelar la operación del sistema productivo en México.

3.3.1 CLASIFICACION DEL CAPITAL Y DEL PRODUCTO.

Para nuestro estudio fue importante dividir el PNB en grupos de actividades económicas que tuvieran efectos similares en los otros sectores del modelo global: contaminación, recursos no renovables y población.

En el modelo general el criterio utilizado para separar el PNB fué el grado en que una actividad económica utiliza recursos no renovables y genera contaminación persistente (definido en los capítulos 5 y 6). En base a esto, identificamos cuatro categorías del

producto:

- 1.- Servicios, la componente intangible del PNB, está compuesto por las actividades que promueven la salud, educación, cultura, etc. de la población. La utilización del capital de servicios para producir cualquier tipo de servicios se puede considerar que no consume recursos ni genera contaminación persistente (las manufacturas del capital de servicios es un proceso Industrial).
- 2.- La producción agrícola es la parte del PNB compuesta por aquellas actividades requeridas para producir, procesar y distribuir alimentos. La utilización del capital agrícola para producir alimentos no consume recursos no renovables, pero puede generar contaminación persistente. Esto se debe a que la producción de productos químicos agrícolas y equipo está considerada en el modelo como parte de la producción industrial; sin embargo, al utilizar estos productos en el sector agrícola pueden causar un deterioro significativo en el aire, el agua y los recursos del suelo.
- 3.- La producción de recursos no renovables es la componente del PNB compuesta por las actividades necesarias para localizar, extraer, procesar y distribuir mi-

nerales y combustibles. El capital requerido para obtener recursos es considerado como una parte del capital Industrial.

4. - La producción industrial está compuesta por todos los tipos de bienes manufacturados. La utilización del capital industrial para producir Industrialización consume recursos y además genera contaminación persistente.

Las cuatro categorías no son perfectamente distintas una de la otra. Por ejemplo, cualquier tipo de bien de capital que constituya una infraestructura social, como una carretera, contribuye a cada una de las cuatro categorías. Sin embargo, la mayoría de los tipos de producción y la mayoría de las actividades pueden ser relacionadas a una de las tres categorías de capital. (Industrial, de servicios y agrícola).

A partir de que el proceso de construcción de edificios para vivienda, educación o salud puede causar alguna contaminación, la construcción es tratada como parte del capital industrial. Pero la contaminación — así como el consumo de recursos no renovables — será poco significativa una vez que estos edificios pasen a formar parte del capital de servicios. En forma similar, la operación de una planta de pesticidas consume recursos, por lo tanto, la planta es catalogada como parte del capital industrial. Los materiales persisten--

tes (definidos en el capítulo 6) introducidos en el medio ambiente a través de la fabricación de pesticidas están clasificados como contaminantes industriales. Los pesticidas una vez elaborados, pasan a formar parte del capital agrícola y cuando este capital es utilizado para producción de alimentos, los pesticidas introducidos en el ecosistema son clasificados como contaminantes agrícolas.

Mientras que el nivel de recursos no renovables es calculado en un sector independiente en el modelo general, el capital dedicado a obtener recursos (pozos petroleros, equipo minero, fundidoras) es definido como una parte del capital industrial. Entonces, cada una de las nueve divisiones económicas mayores de la ISIC -- (figura 3.1) está asociada con un nivel de capital particular en el modelo. El sector agrícola provee la mayoría de la producción de la primera división de la ISIC; quedando consideradas de la segunda división a la quinta dentro del capital industrial y las últimas cuatro divisiones dentro del capital de servicios.

3.3.2 EL COMERCIO EXTERIOR

Quizás la parte de la Economía más difícil de modelar sea el comercio exterior, tanto por las distintas políticas que se siguen, como por las grandes diferencias comerciales de un país a otro.

En el modelo existen tres tipos de exportaciones: industriales, de alimentos y de recursos no renovables. Las exportaciones de servicios son consideradas dentro de las exportaciones industriales, -- siendo obtenidas estas últimas a partir del nivel de industrialización --

alcanzado por el país. Las exportaciones de alimentos y de recursos no renovables se analizarán en detalle en los capítulos 4 y 5 respectivamente.

Ya que es muy difícil poder cuantificar las importaciones para cada sector económico debido a que en gran parte éstas son producto de diferentes políticas gubernamentales, el modelo utiliza las importaciones totales, independientemente del tipo que se trate. La posibilidad y la necesidad de importar dependerán en el modelo del nivel de industrialización alcanzado por la sociedad.

A partir de que las inversiones en los diferentes sectores económicos dependen de la industrialización, el pago de las importaciones se efectuará por medio del capital industrial, siendo éste incrementado por el conjunto de exportaciones.

Aunque los préstamos externos dependen en parte de políticas gubernamentales, están directamente relacionados con un déficit en la balanza de mercancías y servicios; siendo ésta la diferencia entre las exportaciones y las importaciones. Entonces, los préstamos externos en el modelo representan un mecanismo económico estabilizador cuando las importaciones superan a las exportaciones.

3.3.3 FLUJOS BASICOS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO EN MEXICO.

Una vez definida la división del producto y el funcionamiento del comercio exterior, es posible construir el diagrama de flujo de los bienes y servicios involucrados en el proceso de producción mostrado-

en la figura 3.2

Los tres tipos de capital (de servicios, agrícola e industrial) en la figura 3.2 representan los suministros acumulados de maquinaria y equipo que pueden ser utilizados para producir bienes y servicios. Estos niveles de capital, con la ayuda de la tierra y de los recursos naturales no renovables, pueden originar tres tipos de producción: agrícola, la cual es un flujo de comestibles; servicios, un flujo de servicios sociales o personales que son intangibles; e industrial, un flujo que convierte los recursos en bienes materiales.

Se definieron dos usos para el producto del proceso productivo en el modelo: consumo e inversión. Todo tipo de producto que desaparezca en el lapso de un año a partir de su generación, a menos que sea explotado, es considerado como consumido. En el modelo se consideran tres tipos de inversión: por concepto de préstamos del exterior, por exportaciones y por la parte de la producción industrial que no es consumida. El pago de las importaciones y de los préstamos externos constituye una disminución de la inversión en los niveles de capital.

A partir de esto y de las estadísticas de Nacional Financiera (5), se consideró para el flujo del proceso productivo en México lo siguiente:

- a) La producción de servicios es totalmente consumida por la población, ya que las exportaciones de servicios son poco significativas.
- b) De la producción agrícola, una parte es consumida y otra exportada. Considerando, sin embargo, que parte del consumo agrícola

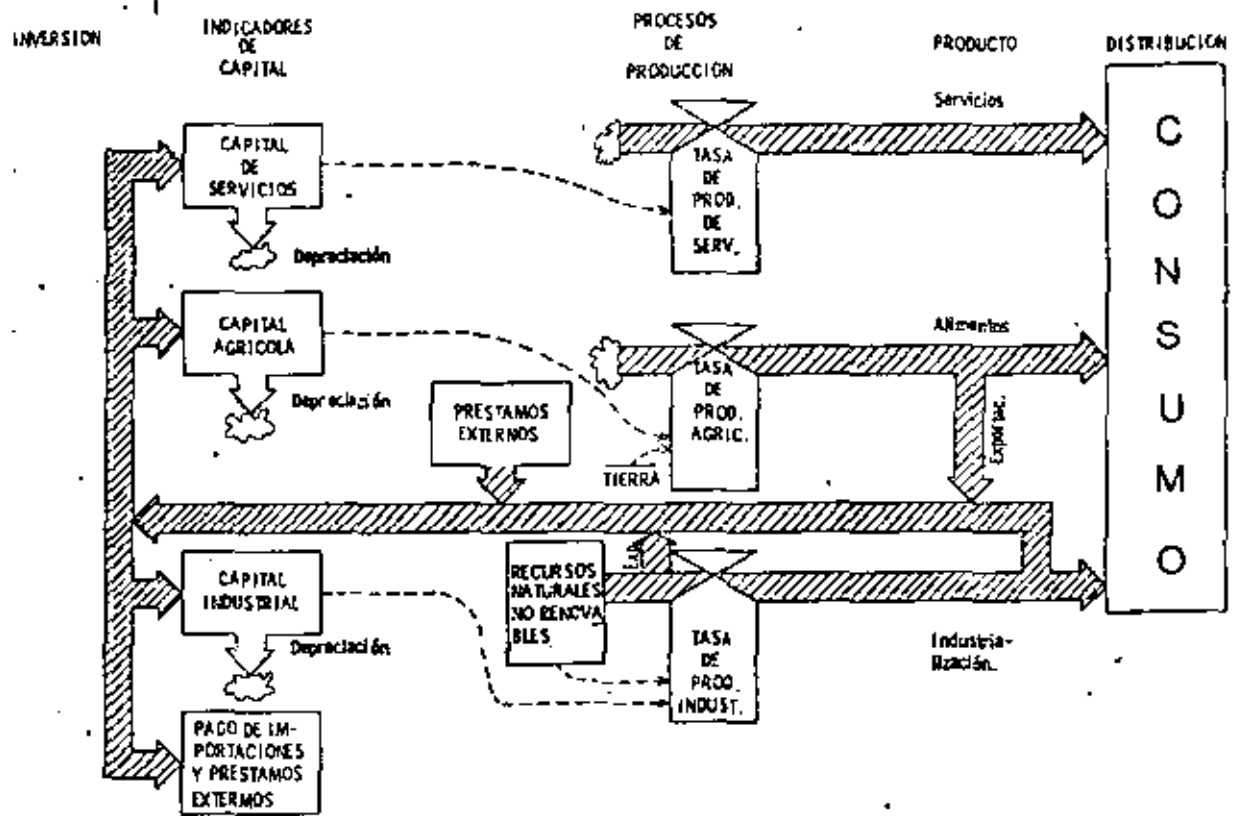


FIGURA 3.2.- Diagrama de Flujo del proceso productivo en México.

Interno es de importación.

c) Los recursos no renovables que son extraídos y no son consumidos por la producción industrial del país son exportados.

d) Los bienes materiales comprendidos en la producción Industrial pueden ser consumidos o invertidos en los sectores agrícola, servicios o industrial. El tipo de inversión dependerá de la función que desempeñen dichos bienes, por ejemplo, un aeroplano podría ser clasificado como una inversión en el capital de servicios, Industrial o agrícola si fuese utilizado para viajes de placer, transporte de componentes electrónicos o fumigación de cosechas, respectivamente. Un ejemplo de producción Industrial dedicada al consumo es el caso de las bombillas eléctricas.

Si la industria produce lavadoras, éstas se convierten en una inversión en el capital de servicios; si son tractores representarán una inversión en el capital agrícola; y si son excavadoras o tornos, la inversión será en el capital industrial.

3.3.4 MEDICIÓN DEL CAPITAL Y DEL PRODUCTO.

Dado que el modelo es altamente Interdependiente, fué necesario definir alguna medida común para las diferentes formas del capital y del producto. A fin de ser congruente con las definiciones de los cuatro sectores descritos anteriormente, fué conveniente utilizar una medida que reflejará el contenido material de un producto y su capacidad de generar contaminación. Además, fué necesario emplear una medida que permitiera la comparación con las estadísticas financieras usadas por los econo

mistas. Los precios de mercado por sí mismos no es una medida apropiada para nuestros propósitos, ya que el precio de un producto puede variar aún en el caso de que su contenido material y su potencial contaminante permanezcan constantes. Decidimos escoger el "peso" como la medida a utilizar en el modelo, sujetándolo a las siguientes condiciones:

- 1.- Un peso es una unidad material, no una unidad monetaria. Un peso de capital en el modelo es la unidad -- promedio de capital que podría haber sido comprada con un peso en 1970. A consecuencia de esta definición, -- el sector de inversión de capital del modelo está directamente relacionado con las estadísticas del capital y la -- producción en México solamente en el año de 1970. Los préstamos externos se miden en función de esta unidad de capital (pesos).
- 2.- Dadas las razones adecuadas de capital-producto, un peso de producción industrial o servicios es una unidad -- compuesta por el conjunto promedio de bienes materiales o servicios recibidos por un peso en México en 1970. La producción agrícola y la de recursos no renovables -- son medidas en kilogramos de vegetal equivalente y en -- unidades de recursos, respectivamente. Sin embargo, -- las exportaciones, independientemente del tipo de que se

traten, son medidas en pesos. Entonces, no existe - una relación directa en el modelo entre la producción y el Producto Nacional Bruto.

3. - Un peso de capital representa la misma suma de capital físico en cualquier momento durante la simulación. Aún cuando los precios, la inflación y la devaluación- estuviesen representados en el modelo, la valuación - de un peso para cada unidad de capital no variaría a - través del tiempo.

3.3.5 USO DE LA INDUSTRIALIZACION EN LUGAR DEL PNB.

Numerosos estudios han revelado que en la mayoría de los países los incrementos en el PNB per cápita están correlacionados con decrementos en el consumo de recursos, cambios en las preferencias- alimenticias, incrementos en la generación de contaminación, incre- mentos en el consumo de energía y cambios en los valores de otros - factores económicos y sociales importantes. Sin embargo, la insufi- ciencia del PNB per cápita como una medida del cambio social es ilus- trada perfectamente por varios países exportadores de petróleo, donde- no se observa la relación histórica típica entre el PNB per cápita y la producción industrial per cápita. Mientras que su PNB per cápita es comparable con el de países desarrollados, su producción industrial - per cápita es muy baja. Además sus estadísticas sociales (por ejemplo, tasa bruta de natalidad, analfabetismo y mortalidad) y sus formas insti

tucionales son características de naciones mucho más pobres. En base a esto, nosotros concluimos que la producción industrial per cápita es superior al PNB per cápita como un índice de los cambios en -- las Instituciones, la tecnología, y los valores personales que causan -- las tendencias seculares correlacionadas a menudo con el PNB per cápita.

Chenery y Taylor (3) han demostrado que es posible obtener el promedio de la producción industrial per cápita que ha correspondido históricamente a cualquier PNB per cápita. Esta correspondencia -- histórica, para el caso de México, es encontrada fácilmente a partir de estadísticas nacionales como las de Nacional Financiera (5). Entonces, la relación empírica de cualquier factor, como la fertilidad, con el -- PNB per cápita puede ser convertida en una función de la producción industrial per cápita. Esta conversión fué empleada a lo largo del modelo y para facilitar la nomenclatura, se le denominó industrialización a la producción industrial.

Aunque es posible ponderar y sumar los cuatro componentes del producto en el modelo -- servicios (pesos de 1970 por año), industrialización (pesos de 1970 por año), alimentos (kilogramos de vegetal equivalente) y recursos (unidades de recurso por año) -- para obtener una medida del Producto Nacional Bruto, este proceso no parece ser de utilidad para entender las causas y consecuencias del crecimiento de la población y de la producción a largo plazo.

3.3.6 EL DESEMPLEO EN EL MODELO

Aparentemente siempre ha habido desempleo en México. El capital industrial, de servicios y agrícola nunca ha podido proveer empleos de tiempo completo a toda la fuerza de trabajo. Entonces, es posible asumir que las restricciones de la fuerza de trabajo no limitarán la producción total que puede ser obtenida por los diferentes tipos de capital durante los próximos cien años. A consecuencia de esto, las funciones de producción en el modelo no son directamente dependientes del empleo. La razón de la población total al producto influirá en la composición del mismo. Esta relación es incluida en el modelo.

Es probable que una caída severa de la población creara escasez en la fuerza de trabajo y entonces disminuiría la eficiencia del capital industrial. Por esta razón, existe un sector de trabajo en el modelo que afecta su comportamiento sólo si la población decrece más rápido que la base del capital industrial. (este efecto del trabajo será descrito más tarde en este capítulo).

A causa de las implicaciones sociales del desempleo, consideramos que su exclusión como parte interactiva es una de las simplificaciones menos satisfactorias del modelo. Aunque no es probable — que la inclusión de una fuerza de trabajo explícita y de una representación de las causas y consecuencias del desempleo cambien los modos básicos de comportamiento del modelo, estas adiciones lo harían mucho más relevante para estudios de bienestar social y estabilidad política. Se espera que el desempleo en México — el cual ya es un inmenso —

problema el día de hoy — empeore durante las próximas décadas. Por lo tanto, sería de utilidad extender el modelo para incluir los mecanismos causales en los cuales el desempleo está involucrado.

3.3.7 DEPRECIACION DEL CAPITAL

A medida que el capital industrial es utilizado para la producción, su productividad decrece gradualmente. Los edificios se deterioran y el equipo se gasta. En el cálculo del activo de una empresa, los contadores reconocen esta pérdida en la eficiencia productiva mediante la substracción de una depreciación anual al valor de cada capital de la empresa. Un método computacional para determinar la magnitud de la depreciación consiste en deducir cada año un cierto porcentaje, relacionado con el tiempo de vida del capital, del balance del capital restante. El resultado es una disminución exponencial en el valor calculado de cada unidad de capital. En la figura 3.3 se muestran las relaciones — que existen entre el valor inicial (precio de adquisición) de una unidad de capital, su tiempo de vida esperado y el valor asignado a la unidad de capital a través del tiempo. Para comparación, se muestra también en la figura 3.3 el valor a través del tiempo de una unidad de capital que no se deprecia hasta que es descartada al final de su tiempo de vida productivo.

En la mayoría de los casos la productividad del capital se deteriora a través del uso. Además, parte del capital es desechado prematuramente mientras otra parte es utilizada mas tiempo del período de uso característico de artículos de su clase. Luego, el método para cal

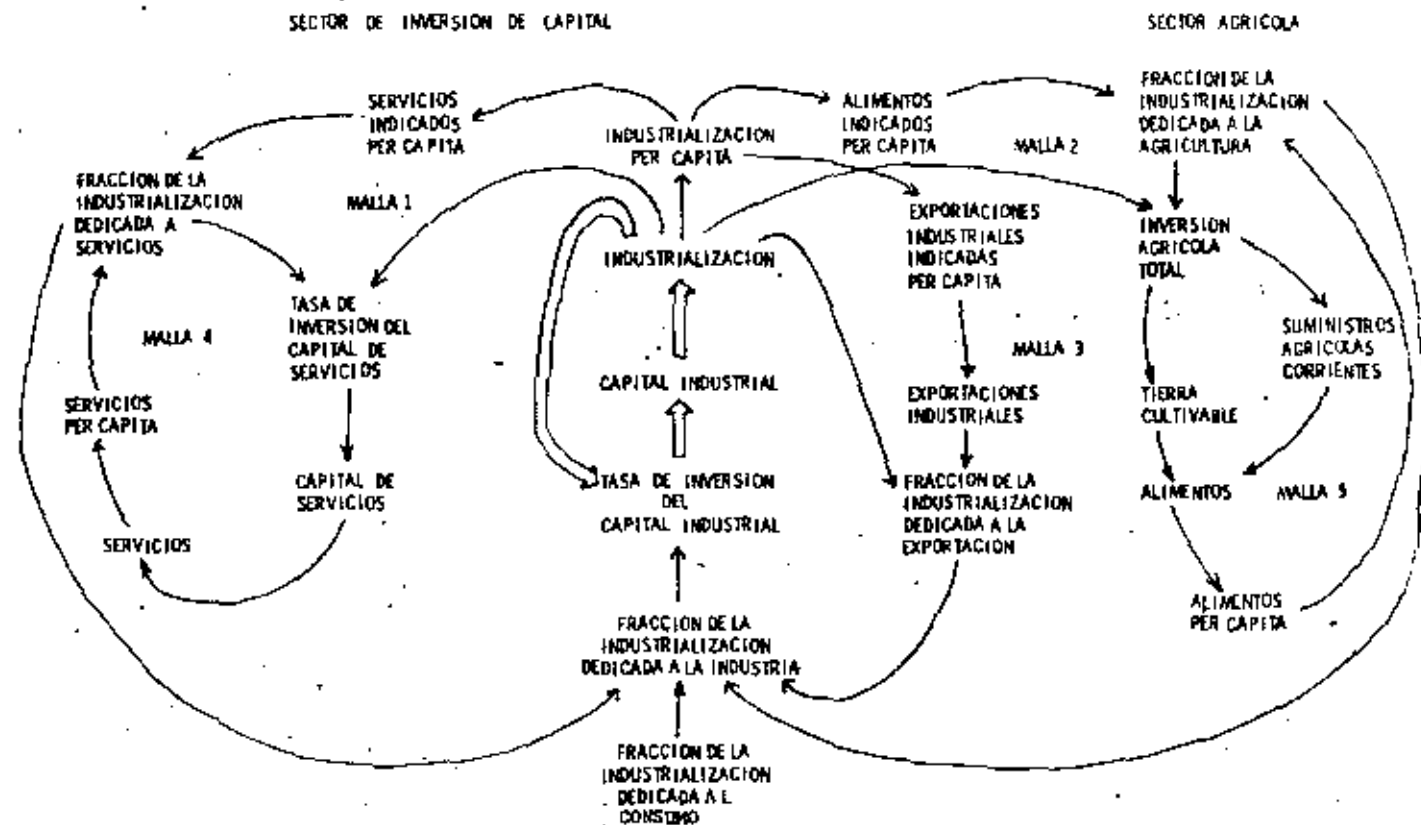


FIGURA # 3.4. - Mecanismo de Asignación que permite reproducir en el modelo cualquier patron de desarrollo específico.

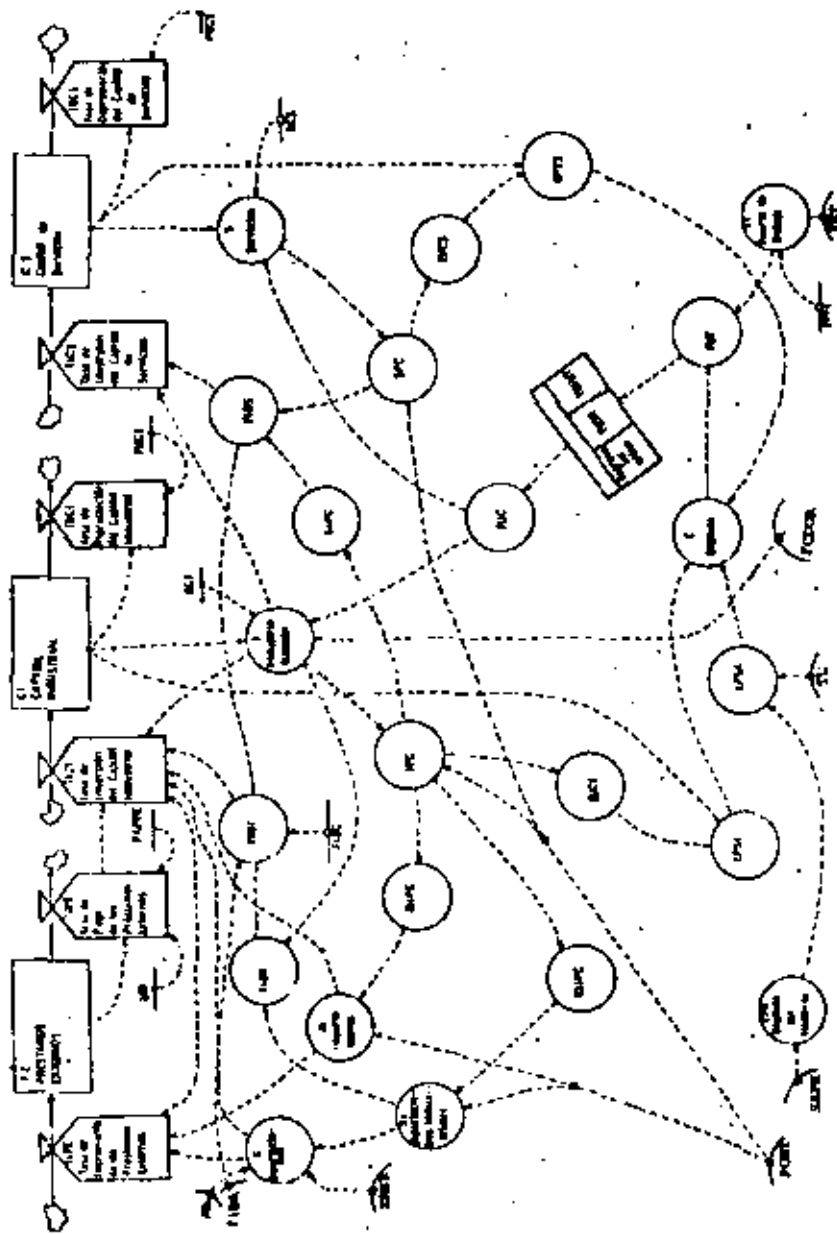


FIGURA 3.5 .- DIAGRAMA DE FLUJO EN DINAMO DEL SECTOR DE INVERSION DE CAPITAL.

3.6 SIMULACIONES

El Sector de Inversión de Capital puede ser simulado en forma independiente del modelo global si se le provee de los valores exógenos para la población total POBT, la fracción del capital dedicada a obtener recursos FCDOR, la fracción de la Industrialización dedicada a la agricultura FIDA, la población en edad de trabajar PBT, las exportaciones de alimentos XA, las exportaciones de recursos - no renovables XRNR, la fracción restante de recursos FRRNR, la tierra cultivable TC y los suministros agrícolas por hectárea SAPH. Para las simulaciones descritas en esta sección, estas variables fueron especificadas como funciones del tiempo; en las corridas del modelo completo, estas variables fueron determinadas en forma endógena por los otros sectores del modelo. Las ecuaciones utilizadas para generar las diferentes corridas de simulación presentadas en esta sección, se encuentran enlistadas en el apéndice 3.A al final de este capítulo.

3.6.1 CORRIDA HISTORICA

Para esta simulación se establecieron valores para las variables exógenas de tal manera que la población total POBT siguiera sus valores históricos, creciendo de 13.6 millones en 1900 a 62 millones en 1976, la fracción de capital dedicada a obtener recursos - FCDOR se mantuvo constante a 0.05 y la fracción de la industrialización dedicada a la agricultura FIDA se conservó a 0.10. A la tie

rra cultivable TC, los suministros agrícolas por hectárea SAPH, las exportaciones no industriales (XA y XRNR) y la fracción restante de recursos FRRNR se les asignó los mismos valores a través del tiempo que se obtuvieron en la corrida histórica del modelo completo. La tierra cultivable crece de 5.4 millones en 1900 a 17 millones en 1970 mientras que los suministros agrícolas por hectárea se elevan de 160 a 700 entre 1900 y 1970. Las Exportaciones de Alimentos XA se incrementan de 300 millones a más de 4 mil millones - - mientras que las exportaciones de recursos no renovables XRNR crecen entre 1900 y 1970 de 490 millones a 6,600 millones.

La fracción restante de recursos cae de su valor original de 1.0 en 1900 al valor esperado de 0.9 en 1970 (para el modelo del sector de recursos no renovables se consideró que entre 1900 y 1970 se agotaron el 10% de los recursos existentes).

La población en edad de trabajar PET (personas entre los 15 y los 64 años de edad) se obtuvo como un porcentaje constante (52%) de la población total.

El comportamiento del sector de Inversión de Capital en respuesta a estas variables exógenas es mostrado en la corrida 3.1- (Figura 3.15). La industrialización per cápita IPC y los servicios per cápita SPC sobrepasan ligeramente sus valores históricos para 1900 y 1970: IPC (1900) = 845 pesos por persona-año, IPC (1970) = 2 600 - pesos por persona-año, SPC (1900) = 1 860 pesos por persona año y

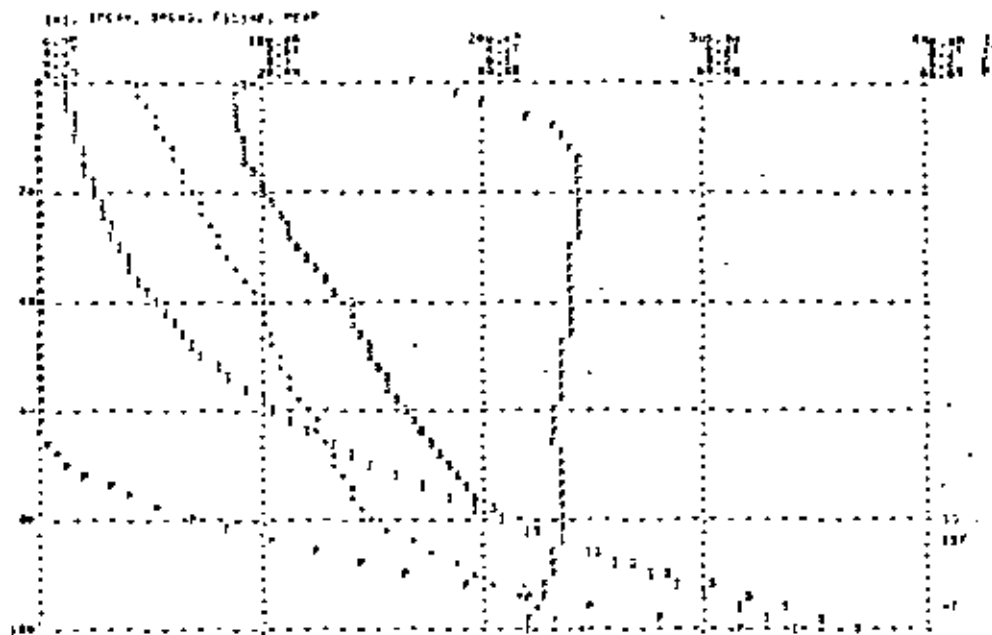


FIGURA # 3.15.- Corrida 3.1: Corrida histórica del Sector de Inversión de Capital con variables exógenas.

I	(I)	Industrialización
IPC	(*)	Industrialización per Cápita
SPC	(S)	Servicios Per Cápita
FIDS	(F)	Fracción de la Industrialización dedicada a Servicios.
PE	(P)	Préstamos Externos

SPC (1970) - 3700 pesos por persona-año. La fracción de la Industrialización dedicada a servicios varía ligeramente alrededor de 0.12, implicando que los servicios indicados per cápita SIPC son un poco mayores que SPC. Los préstamos externos PE crecen a partir de 1962, alcanzando un valor de casi 3 mil millones de pesos en 1970. El crecimiento resultante de la malla de retroalimentación positiva es claramente evidente.

Cabe recordar que este tipo de modelos son imprecisos y con fines meramente cualitativos, por lo que un valor aproximado - obtenido a través de un comportamiento apegado a la realidad es el resultado buscado.

3.6.2 PRUEBAS DE SENSITIVIDAD.

El determinante principal del comportamiento del Sector de Inversión de Capital es la tasa de crecimiento engendrada en la malla de retroalimentación positiva que liga el capital industrial, la Industrialización y la tasa de Inversión del capital industrial. Las corridas 3.2 (Figura 3.16) y 3.3 (Figura 3.17) ilustran el comportamiento del sector cuando se altera favorablemente la malla de retroalimentación positiva. Para obtener la corrida 3.2 se cambió el promedio de vida del capital industrial PVCI de 14 a 21 años. El resultado es un incremento substancial en la tasa de crecimiento del sector. En lugar de alcanzar 2 600 pesos por persona-año en 1970, - IPC ahora alcanza casi 5 300 pesos por persona-año en 1970.

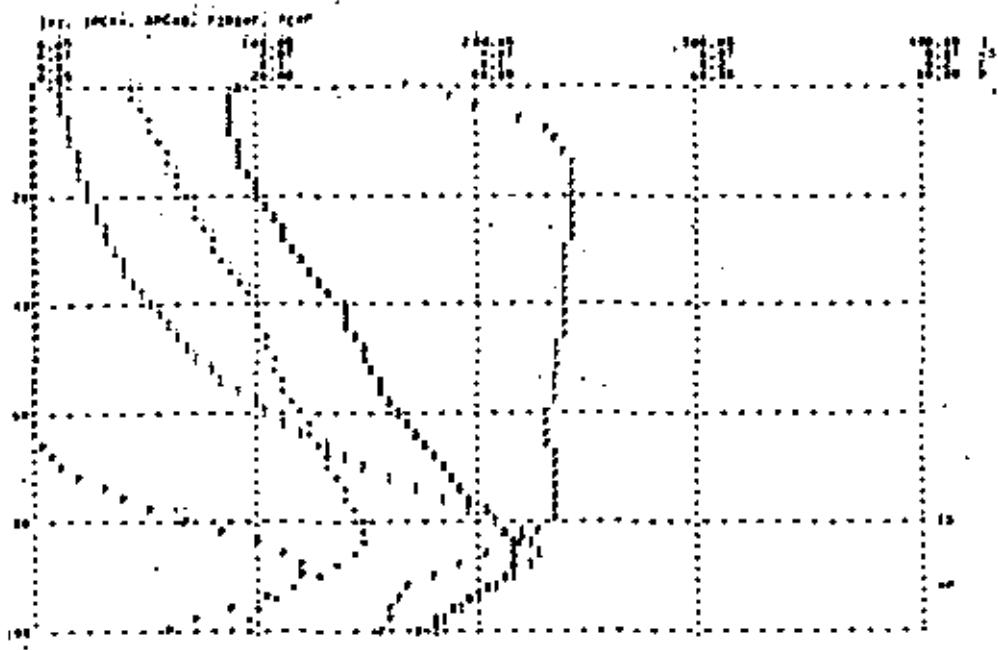


FIGURA # 3.16.- Corrida 3.2: Comportamiento del Sector de Inversión de Capital cuando el promedio de vida del Capital industrial se incrementa de 14 a 21 años.

- I (I) Industrialización
- IPC (I*) Industrialización per Cápita
- SPC (S) Servicios per Cápita
- FIDS (F) Fracción de la industrialización dedicada a servicios.

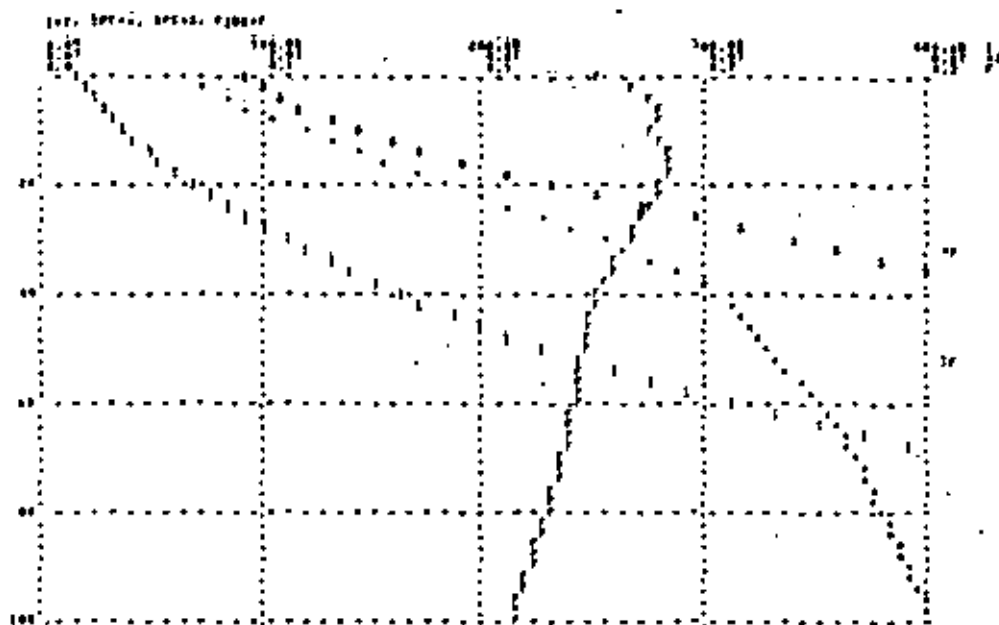


FIGURA # 3.17.- Corrida 3.3: Comportamiento del Sector de Inversión de Capital cuando la razón capital-Industrialización se disminuye de 3 a 2 años.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ALGUNOS CONCEPTOS DE SIMULACION

M. en C. Marcial Portilla Robertson

OCTUBRE, 1982

ALGUNOS CONCEPTOS DE SIMULACION.

POR MARCIAL PORTILLA R.

PARA PODER ANALIZAR CUALQUIER SISTEMA, ES NECESARIO PRIMEMENTE EL MODELADO. DEL ESTABLECIMIENTO ADECUADO, DEL MODELO DEPENDERA EN GRAN PARTE EL EXITO DEL ESTUDIO, UNA VEZ LLEVADO A CABO EL MODELO DEL SISTEMA SE PROCEDERA A SIMULARLO USUALMENTE A DIFERENTES CONDICIONES EXTERIORES (VARIABLES EXOGONAS - DEL MODELO).

EN ESTE CAPITULO DEL CURSO VAMOS A VER PRIMAMENTE, LA DEFINICION DEL MODELO, SU CLASIFICACION SEGUN SUS CARACTERISTICAS Y SEGUN SUS FUNCIONES, VEREMOS COMO FORMULAR UN MODELO (DEL TIPO QUE PODAMOS SIMULAR), ASI COMO SU DESARROLLO. POSTERIORMENTE VEREMOS LA METODOLOGIA DE LA SIMULACION, LA GENERACION DE NUMEROS ALEATORIOS, LA GENERACION DE FUNCIONES DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD, CON LOS CONCEPTOS ANTERIORES SE ANALIZARA UN PROBLEMA UTILIZANDO EL METODO DE MONTECARLO EN LINEAS DE ESPERA Y POR ULTIMO SE VETA LENGUAJES DE SIMULACION: DYNAMO, ASI COMO PROBLEMAS TIPICOS QUE SE PUEDEN RESOLVER CON ESTE LENGUAJE DE SIMULACION.

1.- DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES.

VAMOS A DEFINIR UN SISTEMA COMO UN AGREGADO DE OBJETOS O ACCIONES LOS CUALES TIENEN UNA INTERACCION REGULAR INTERDEPENDIENTE. (1)

AL ESTABLECER EL MODELO DE UN SISTEMA EL ANALISTA DEBE DETERMINAR LAS FRONTERAS DEL MISMO, DEBEMOS NOTAR QUE NINGUN SISTEMA ESTA TOTALMENTE AISLADO, SIN EMBARGO PARA FINES ESTUDIO LOS SISTEMAS DEMASIADO GRANDES SE TORNAN EN IMPOSIBLES DE ANALIZAR O MUY COSTOSOS.

A LOS CAMBIOS QUE OCURREN AFUERA AL DEL SISTEMA Y QUE AFECTAN SENSIBLEMENTE AL SISTEMA EN ESTUDIO DECIMOS QUE OCURREN EN EL "MEDIO AMBIENTE" DEL SISTEMA, Y COMO SE DIJO ES IMPORTANTE FIJAR LAS FRONTERAS DE ESTE MEDIO AMBIENTE EN LA ETAPA DE MODELADO DEL SISTEMA.

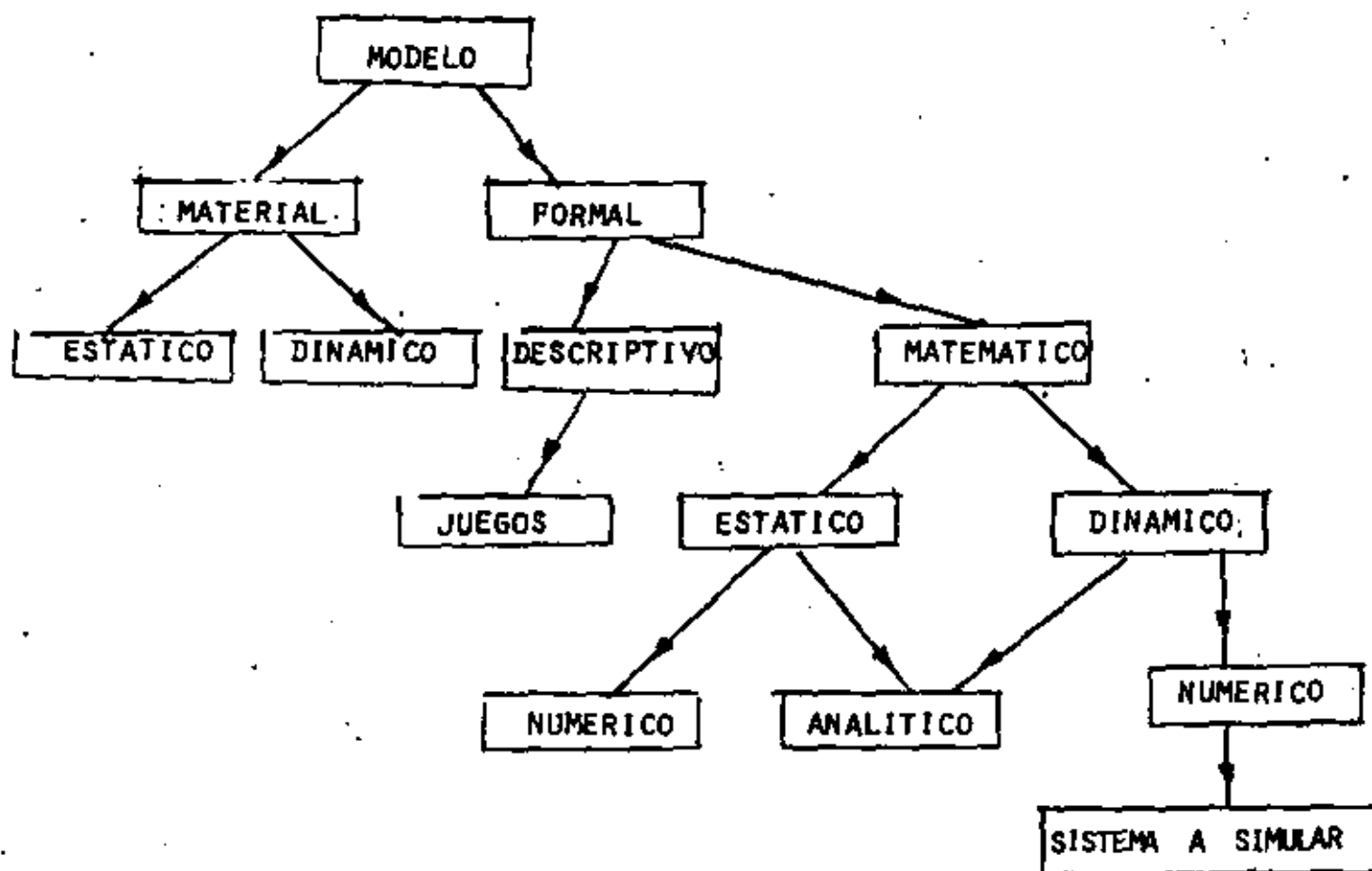
VAMOS A DEFINIR COMO UN "MODELO" LA REPRESENTACION CUALITATIVA Y/O CUANTITATIVA DE UN SISTEMA. ESTA REPRESENTACION DEBE MOSTRAR LAS RELACIONES ENTRE LOS DIVERSOS FACTORES QUE SON DE INTERES PARA EL ANALISIS DEL SISTEMA. (2) Es muy importante, con el objeto de que el modelo se pueda manejar, el solo incluir las variables mas relevantes en el caso de estudio, tal vez nos preguntemos en este punto El por que hay que modelar un sistema para despues simularlo? BIEN, SI SE QUIERE ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACION TAL VES, RESULTE "COSTOSO" HACERLO EN EL SISTEMA EN LUGAR DE EN EL MODELO, EJEMPLO DE ESTO SON DECISIONES ECONOMICAS O (POLITICAS) QUE SE TOMAN EN UN PAIS SIN ENTENDER SU EFECTO DENTRO DEL SISTEMA. EXISTEN TAMBIEN RAZONES DE SEGURIDAD. POR EJEMPLO SI SE DESEA INVESTIGAR LOS EFECTOS DE CARGAS EN VIGAS PARA EDIFICIOS O PUENTES, RESULTA MUY PELIGROSO LLEVARLO A CABO EN EL EDIFICIO O PUENTE EN LUGAR DE UN ALGUN MODELO.

POR ULTIMO SI UTILIZAMOS MODELOS, PODEMOS PREDECIR EL COMPORTAMIENTO DEL MISMO A DIFERENTES CONDICIONES Y/O CAMBIOS QUE SE DEN EN SU MEDIO AMBIENTE. TAMBIEN SE EMPLEAN MODELOS EN EL DISEÑO DE PROTOTIPOS (I E, AVIONES, SISTEMAS ECONOMICOS) PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DEL MISMO CON DIFERENTES CONDICIONES, Y ASI PODER EVALUAR LOS DIFERENTES PROTOTIPOS LLEVADO A CABO.

2.- CLASIFICACION DE LOS MODELOS.

EXISTEN VARIAS FORMAS DE CLASIFICAR LOS MODELOS (2), (3), (4) Y (5). LA CLASIFICACION QUE VAMOS A USAR ES UNA MEZCLA ENTRE (2) Y (5) QUE SE ILUSTRAN EN LAS FIGURAS 2.1 Y 2.2.

LA PRIMERA SEPARACION QUE SE HACE ES ENTRE LOS MODELOS FISICOS O MATERIALES, Y LOS FORMALES.



Los **MODELOS MATERIALES** HAN SIDO MUY USADOS POR LOS INGENIEROS ARQUITECTOS Y COMO EJEMPLO DE ESTOS TENEMOS LOS MAPAS, LAS MAQUETAS Y LOS MODELOS A ESCALA. POR OTRA PARTE DURANTE SIGLOS LOS CIENTIFICOS Y ESTADISTAS HAN FORMULADO MODELOS, ALGUNOS MATEMATICOS -- (LEYES DE NEWTON) Y OTROS DADOS POR ACEVERACIONES LOGICAS (CONSTITUCION POLITICA) AMBOS MODELOS SON DEL TIPO **FORMAL** Y REPRESENTAN PROPIEDADES ESCENCIALES DEL SISTEMA ORIGINAL. A CONTINUACION EN LA FIGURA 2.2 (QUE FUE TOMADA DE (2)) SE HACE UN RESUMEN DE LA CLASIFICACION DE LOS MODELOS DANDO UN EJEMPLO CADA UNO DE ESTOS.

Los **MODELOS ESTATICOS** SON AQUELLOS QUE NO VARIAN - CON EL TIEMPO, A DIFERENCIA DE LOS **DINAMICOS**, QUE SON AQUELLOS CUYAS CONDICIONES CAMBIAN CON EL TIEMPO. DENTRO DE - LOS MODELOS ESTATICOS Y DINAMICOS SE TIENEN MODELOS DETERMINISTICOS PROBABILISTICOS (O ESTOCASTICOS).

Los **MODELOS DETERMINISTICOS** SON AQUELLOS CUYO RESULTADO O SALIDA DE SU ACTIVIDAD ESTA TOTALMENTE DETERMINADA EN TERMINOS DE SU ENTRADA.

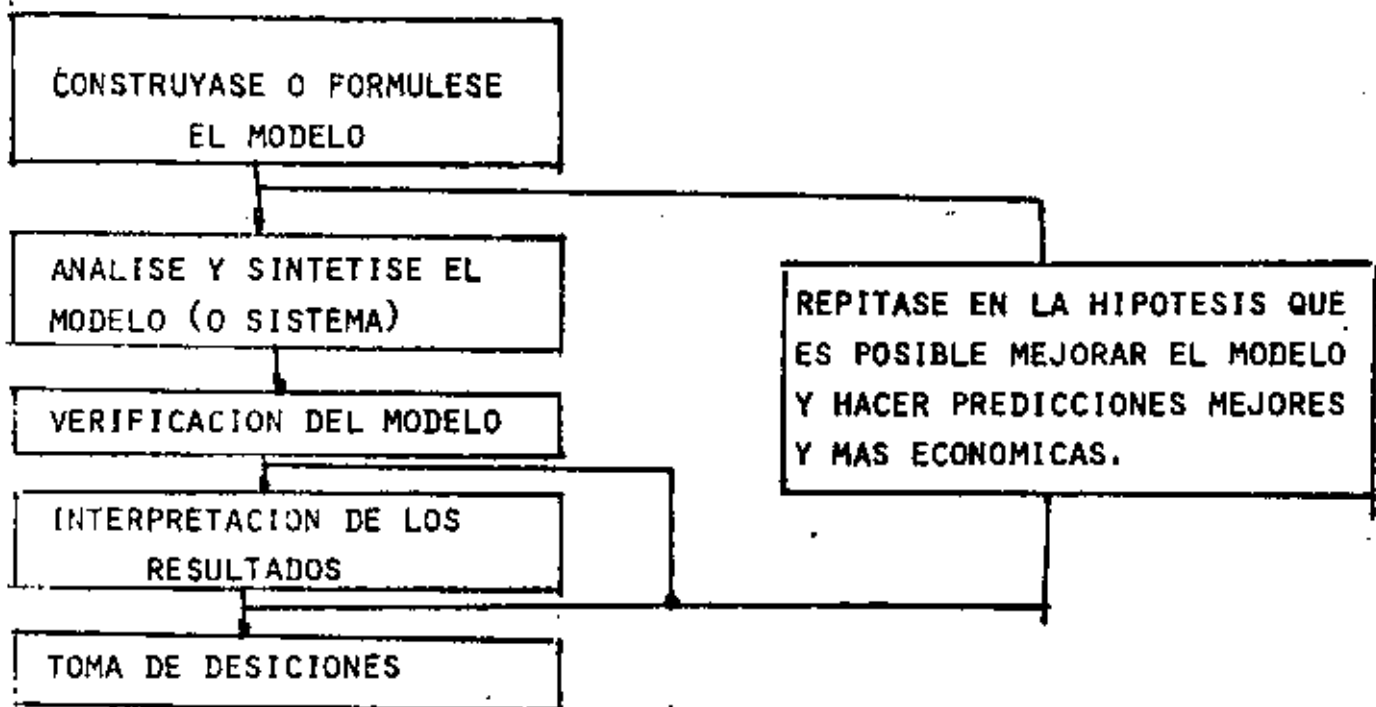
Los **MODELOS ESTOCASTICOS** O **PROBABILISTICOS**, SON AQUELLOS CUYA SALIDA VARIA, ALEATORIAMENTE SEGUN LOS EFECTOS DE LAS - ENTRADAS QUE RECIBA.

Los **MODELOS DEL TIPO REPLICA**, SON AQUELLOS QUE CONSEVAN - TODAS LAS CARACTERISTICAS DE SU ORIGINAL, LOS **CUASI-REPLICA**, HAN PERDIDO UNA ESCALA, Y LOS **ANALOGICOS** GUARDAN UNA ANALOGIA CON EL MODELO ORIGINAL, SIN EMBARGO NO TIENEN PARENTESCO O SIMILARIDAD ALGUNA (EXCEPTO EN SU COMPORTAMIENTO).

Los **MODELOS** SE PUEDEN CLASIFICAR TAMBIEN DE ACUERDO A LA FUNCION QUE DESEMPEÑAN, ESTO ES: LOS **CUALITATIVOS** Y LOS **CANTITATIVOS** (6), A CONTINUACION SE DA UN EJEMPLO PRIMERO DE ESTOS TIPOS.

TODO **MODELO** QUE SE CONSTRUYE DEBE SEGUIR UNA SECUENCIA, - A CONTINUACION BREVEMENTE SE DESCRIBIRAN LAS ETAPAS EN EL - DESARROLLO DE **MODELOS**;

		MATERIALES			FORMALES		
		REPLICA	CUASI-REPLICA	ANALOGICO	DESCRIPTIVO	SIMULACION	FORMAL
E S T A T I C O	DETERMINISTICO	ESTATUA	MAPA	ESCULTURA MODERNA	LIBRO ROJO DE MAD	TABLAS DE DECISIONES LOGICAS	LEY DE OHM
	PROBABILISTICO	PRUEBAS DE DOSIS	MAPA METEOROLOGICO	DADO MODELANDO RULETA RUSA	REPORTE DEL TIEMPO	PROGRAMA PARA JUGAR AJEDREZ,	
D I N A M I C O	DETERMINISTICO	MODELO DE UNA PRESA	PLANETARIUM	CIRCUITO ELECTRICO EN COMPORTAMIENTO ANALOGICO	SISTEMA LEGAL	ALGORITMO DE RUTA CRITICA	
	PROBABILISTICO	EXPERIMENTO DE GENETICA			TEXTO DE EVOLUCION	MODELO DE TRANSPORTE	MODELO CON ECUACIONES DIFERENCIALES ESTOCASTICAS



EN EL PRIMER PASO DEBEMOS SELECCIONAR (O CONSTRUIR) UN MODELO SATISFACTORIO PARA EL TRABAJO DE PREDICCIÓN A DESARROLLAR, IDENTIFICANDO LOS COMPONENTES, SUS RELACIONES, MECANISMOS Y VARIABLES DEL SISTEMA.

EN EL SEGUNDO PASO, AL ANALIZAR EL MODELO HAY QUE ESTABLECER LAS VARIABLES ENDOGENAS Y EXOGENAS DEL MISMO, DETERMINANDO LAS VARIACIONES DE LAS SEGUNDAS, YA QUE LAS PRIMERAS DEPENDEN DE LA FORMULACION DEL MISMO

ANTES DE TOMAR ALGUNA DECISION, DEBEMOS VERIFICAR EL MODELO, ESTO ES, SI LOS RESULTADOS OBTENIDOS ESTÁN DE ACUERDO O SON COMPARABLES CON LAS OBSERVACIONES DEL MUNDO REAL O SI LOS RESULTADOS SON LOS QUE SE DESEAN OBTENER, SI NO HAY QUE REFORMULAR, POSTERIORMENTE (PASO 4) HAY QUE INTERPRETAR LOS RESULTADOS DE LA COMPARACION (MODELO) Y CON BASE A LA DISCREPANCIA ENTRE LOS RESULTADOS PRONOSTICADOS Y LOS OBSERVADOS, PODEMOS TOMAR UNA DECISION (PASO 5).

HAY QUE TENER CUIDADO EN LA FORMULACION DE MODELOS, PUES A MENUDO SE CAE EN FALACIAS, Y LAS MAS FRECUENTES SON:

A) FALACIAS DE NIVEL, EN DONDE SE CONSIDERA QUE LO QUE ES

CIERTO PARA TODO, ES CIERTO PARA LAS PARTES.

- B) FALACIA INDIVIDUALISTA, DONDE SE CONSIDERA QUE LO QUE ES CIERTO PARA LOS INDIVIDUOS (O PARTES) LO ES TAMBIEN PARA LOS GRUPOS.
- C) FALACIA HISTORICA, CONSIDERA QUE LOS SISTEMAS NO CAMBIAN CON EL TIEMPO.

3.- SIMULACION.

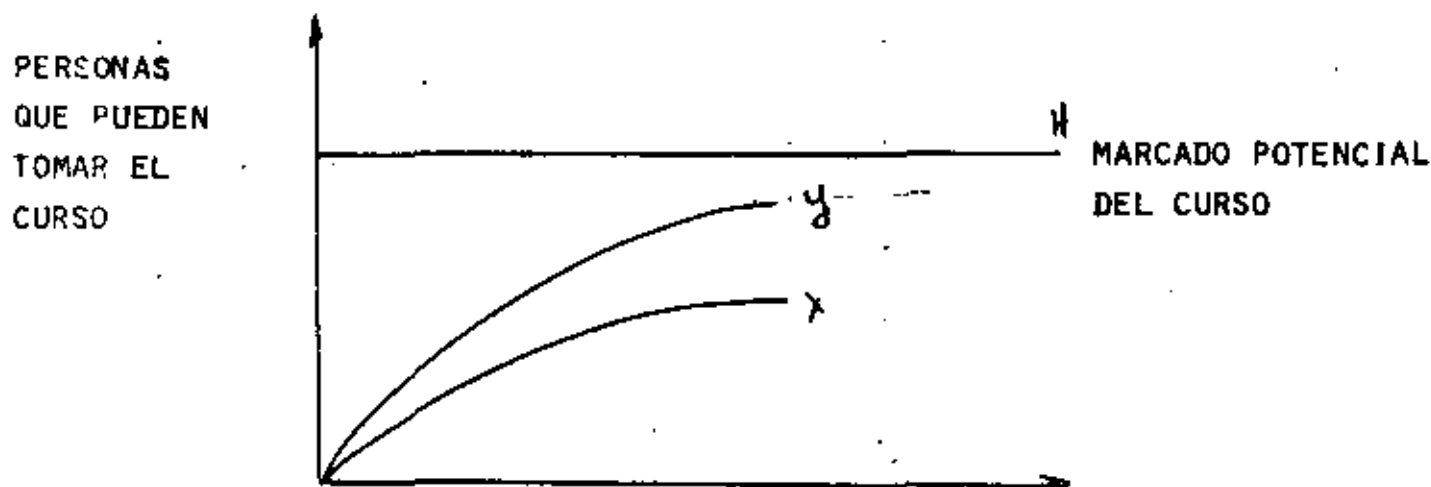
EN ESTA PARTE VAMOS A VER LA METODOLOGIA DE LA SIMULACION A TRAVES DE ALGUNOS EJEMPLOS, ASI COMO LA PARTE OPERATIVA MATEMATICA PARA LLEVAR A CABO LA SIMULACION DE UN MODELO COMO YA -- SE DESCRIBIO AL INICIO DE ESTE TEMA.

UN ASPECTO IMPORTANTE EN LA SIMULACION DE SISTEMAS, ES EL OBSERVAR LA RELACION ENTRE LAS VARIABLES ASI COMO SUS CAMBIOS -- EN EL TIEMPO. LA SIMULACION ES ESENCIALMENTE UN METODO EXPERIMENTAL PARA RESOLVER PROBLEMAS, USUALMENTE HAY QUE HACER -- VARIAS "CORRIDAS" DE LA SIMULACION CAMBIANDO LAS VARIABLES EXOGENAS, CON EL FIN DE ENTENDER EL SISTEMA, ES DECIR SE TRATA DE UN METODO EXPERIMENTAL.

DENTRO DE LA SIMULACION SE DISTINGUEN DOS TIPOS DE SISTEMAS A SIMULAR: LOS CONTINUOS; QUE SON AQUELLOS CAMBIOS QUE OCURREN EN FORMA SUAVE O LENTA, VERSUS LOS DISCRETOS QUE TIENEN -- CAMBIOS BRUSCOS, O SOLO DA EN INTERVALOS DE TIEMPOS NO CONTINUOS. NOTESE QUE ESTA CLASIFICACION NO SE INCLUYO EN EL PUNTO ANTERIOR DEBIDO A QUE NO DETERMINA SI LA TECNICA A UTILIZAR ES ANALITICA O MATEMATICA. PERO SU NATURALEZA (CONTINUA O DISCRETA) SE -- TORNA EN IMPORTANTE, AL DECIDIR EL TIPO DE COMPUTADORA A UTILIZAR (ANALOGICA O DIGITAL) ASI COMO EL LENGUAJE DE PROGRAMACION.

EL TIPO DE SIMULACION QUE NOS OCUPA EN ESTA PARTE DEL CURSO SON LOS MODELOS MATEMATICOS DINAMICOS NUMERICOS (FIG. 2) PARA ILUSTRAR LA TECNICA NUMERICA DE SIMULACION, CONSIDEREMOS EL SIGUIENTE EJEMPLO"

EL PROFESOR DE CURSO OBSERVA QUE EL NUMERO DE PERSONAS QUE SE LES PUEDE 'VENDER EL CURSO' DE SISTEMAS ES EL TOTAL DE GERENTES Y EJECUTIVOS DE EMPRESAS QUE NO LO HAN TOMADO. NOTESE QUE CON EL TIEMPO CIERTAS PERSONAS TOMAN EL CURSO Y LA TASA DE 'VENTA' DEL CURSO DISMINUYE A MEDIDA QUE MAS PERSONAS LO TOMAN. SEA H EL NUMERO DE GERENTES Y EJECUTIVOS POTENCIALES A TOMAR EL CURSO Y EL NUMERO DE GERENTES, Y EJECUTIVOS QUE HAN TOMADO -- EL CURSO.



LA CURVA y INDICA EL NUMERO DE PERSONAS QUE HAN TOMADO EL CURSO EN UN TIEMPO 'T', MATEMATICAMENTE LA CURVA ANTERIOR SE PUEDE DESCRIBIR.

$$\dot{y} = k_1 (H - y) \quad \begin{matrix} y=0 \\ t=0 \end{matrix}$$

NOTESE QUE LA PENDIENTE DE LA CURVA DECRECE SI H-Y DECRECE, Y ESTO REFLEJA UNA SATURACION DEL MERCADO.

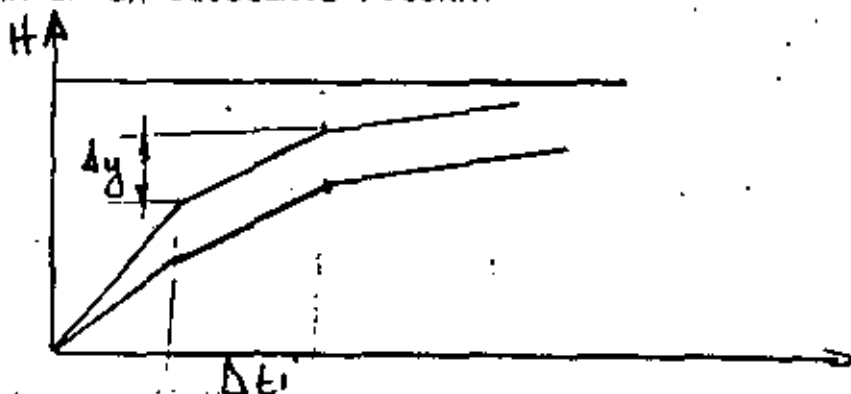
LAS "AUTORIDADES" (?) NOTAN QUE SE PUEDEN DAR UN SEGUNDO CURSO DIGAMOS 'SIMULACION DE SISTEMAS' LOS CLIENTES POTENCIALES DE ESTE CURSO SERAN LOS EJECUTIVOS Y GERENTES QUE YA TOMARON EL PRESENTE.

LLAMEMOS A X EL NUMERO DE PERSONAS QUE TOMAN EL CURSO - SIMULACION DE SISTEMAS, EL MERCADO NO SATISFECHO ES LA DIFERENCIA ENTRE X E Y , LA DEMANDA DEL SEGUNDO CURSO ESTA DESCRITA POR

$$\dot{X} = k_2 (Y - X) \quad \begin{array}{l} X=0 \\ t=0 \end{array}$$

LAS DOS ECUACIONES CONSTITUYEN UN MODELO.

LA TECNICA A SIMULAR EL MODELO ANTERIOR (SIMPLE) CONSISTIRA EN CALCULAR PASO A PASO EL RESULTADO DE LAS ECUACIONES ANTERIORES. SUPONGAMOS QUE LOS CALCULOS SE HACEN EN INTERVALOS DE TIEMPO AL IGUALES, ES DECIR PASO A PASO Y ESTO -- MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA:



LA TASA DE CAMBIO PUEDE SER INTERPRETADA COMO EL CAMBIO POR UNIDAD DE TIEMPO.

$$\text{CAMBIO DE } Y = \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

$$\text{CAMBIO DE } X = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

DE LAS ECUACIONES DEL MODELO PODEMOS ESCRIBIR

$$\Delta y_i = k_1 (H - y_i) \Delta t \quad \Delta x_i = k_2 (y_i - x_i) \Delta t$$

COMO SE CONOCE X_i e Y_i RESULTA SENCILLO CONOCER LOS VALORES DE Y E X EN EL TIEMPO t_{i+1} , SIN EMBARGO NOTESE QUE LA ECUACION Δy_i DEBE RESOLVERSE ANTES, Y OBTENER EL VALOR DE y_i PARA DESPUES PODER UTILIZAR ESTE.

EJEMPLO 2

MODELO DE COBWEB.

UN MODELO PARA PRESENTAR EL CONCEPTO DE RETRASO ES EL MODELO DE COBWEB (MODELO DE MERCADO). LOS MODELOS DE RETASO SON UTILIZADOS EXTENSIVAMENTE EN ESTUDIOS ECONOMETRICOS DONDE SE EMPLEAN PASOS MITORNES EN INTERVALOS DE TIEMPO (DIAS, MESES ETC), DE DATOS ECONOMETRICOS. EN ESTE TIPO DE MODELOS SE REQUIERE UN GRAN NUMERO DE DATOS ESTADISTICOS CON EL FIN DE ESTABLECER LAS DEPENDENCIAS Y EL VALOR DE LOS COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES.

EN EL SIGUIENTE MODELO ESTADISTICO SE RELACIONA LA DEMANDA D LA OFERTA O AL PRECIO DE MERCADO P. PARA QUE EL MODELO SEA REALISTICO LA OFERTA DEPENDERA DEL PRECIO DEL MERCADO EN EL TIEMPO (ANTERIOR), DADO QUE ES LA UNICA CIFRA CON LA QUE CUENTA EL SECTOR OFERTA EN EL MOMENTO DE LLEVAR A CABO PLANES FUTUROS. SIN EMBARGO LA DEMANDA DEPENDERA DEL PRECIO ACTUAL. EL MODELO DE DISTRIBUCION EN LA FORMA DE RETRASO ES"

$$\begin{aligned} Q &= a - bP \\ S &= c + dP_{-1} \\ Q &= S \end{aligned}$$

DADO UN PRECIO INICIAL P_0 EL VALOR DE S AL FINAL DEL PRIMERO INTERVALO SE PUEDE OBTENER, LO CUAL DEFINIERA EL VALOR DE Q, DADO QUE EL MERCADO ESTA LIBRE, DE ESTE NUEVO VALOR SE PUEDE OBTENER P_1 . EL VALOR PASADO SE TORNA EN VALOR USADO EN EL CALCULO DEL SEGUNDO INTERVALO, LA SIGUIENTE FIGURA NOS MUESTR

TRA FLUCTUACIONES EN EL PRECIO DEL MERCADO EN LOS SIGUIENTES CASO (2),

(a)

$$P_0 = 1.0$$

$$a = 12.4$$

$$b = 1.2$$

$$c = 1.0$$

$$d = 0.4$$

(b)

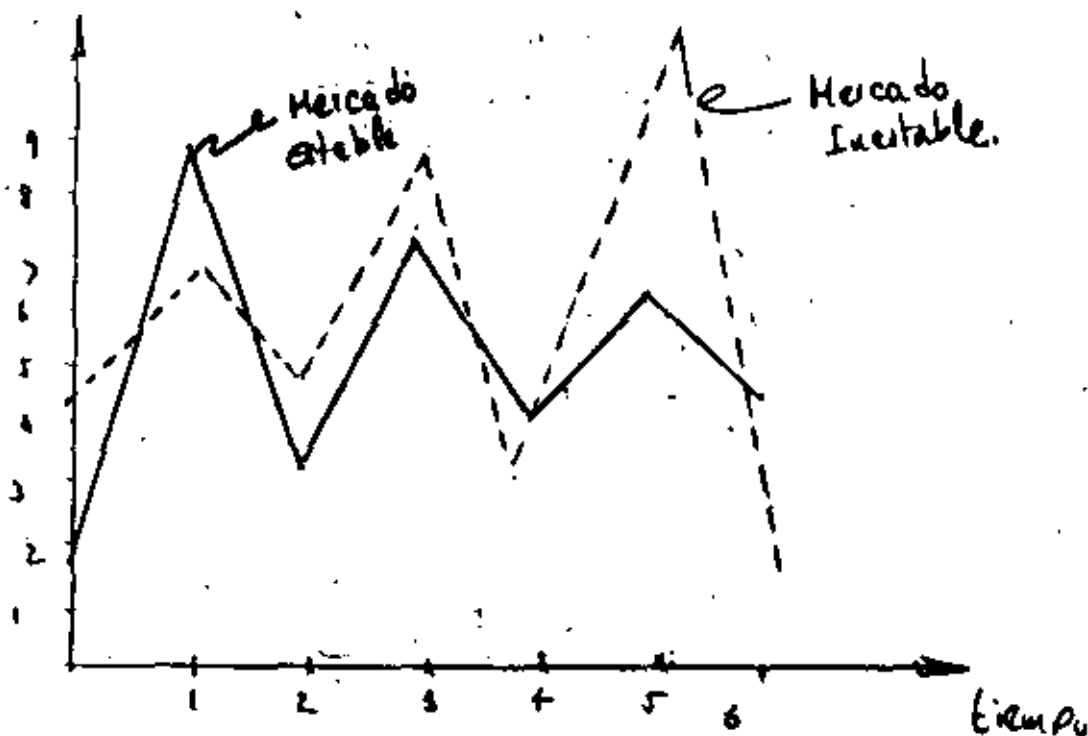
$$P_0 = 5.0$$

$$a = 10.0$$

$$b = 0.9$$

$$c = -2.6$$

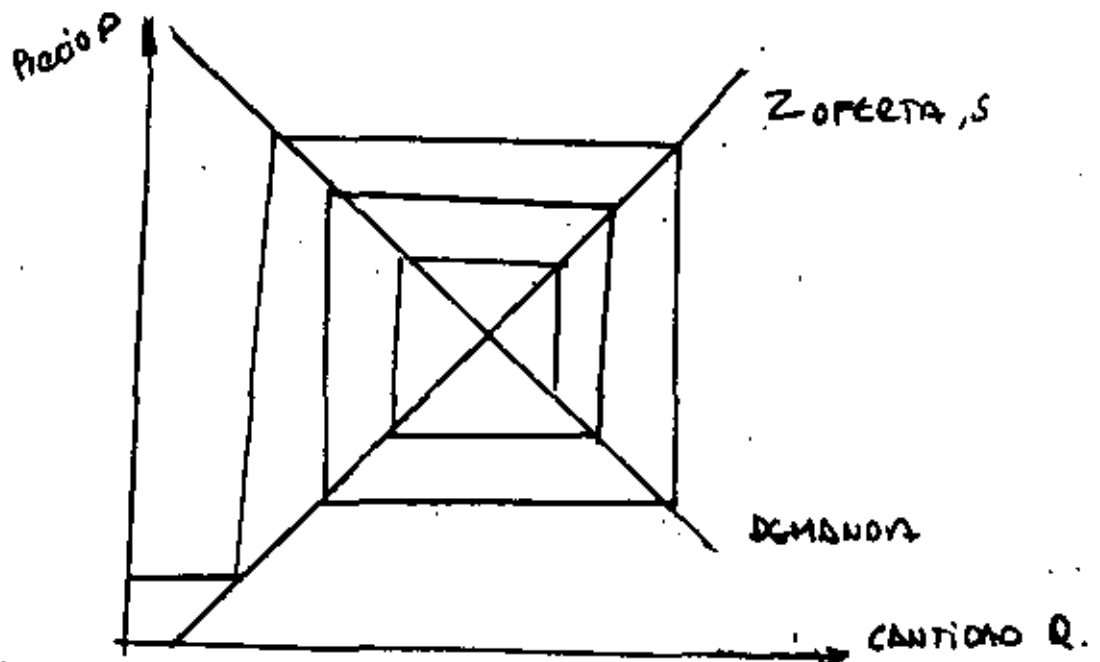
$$d = 1.2$$



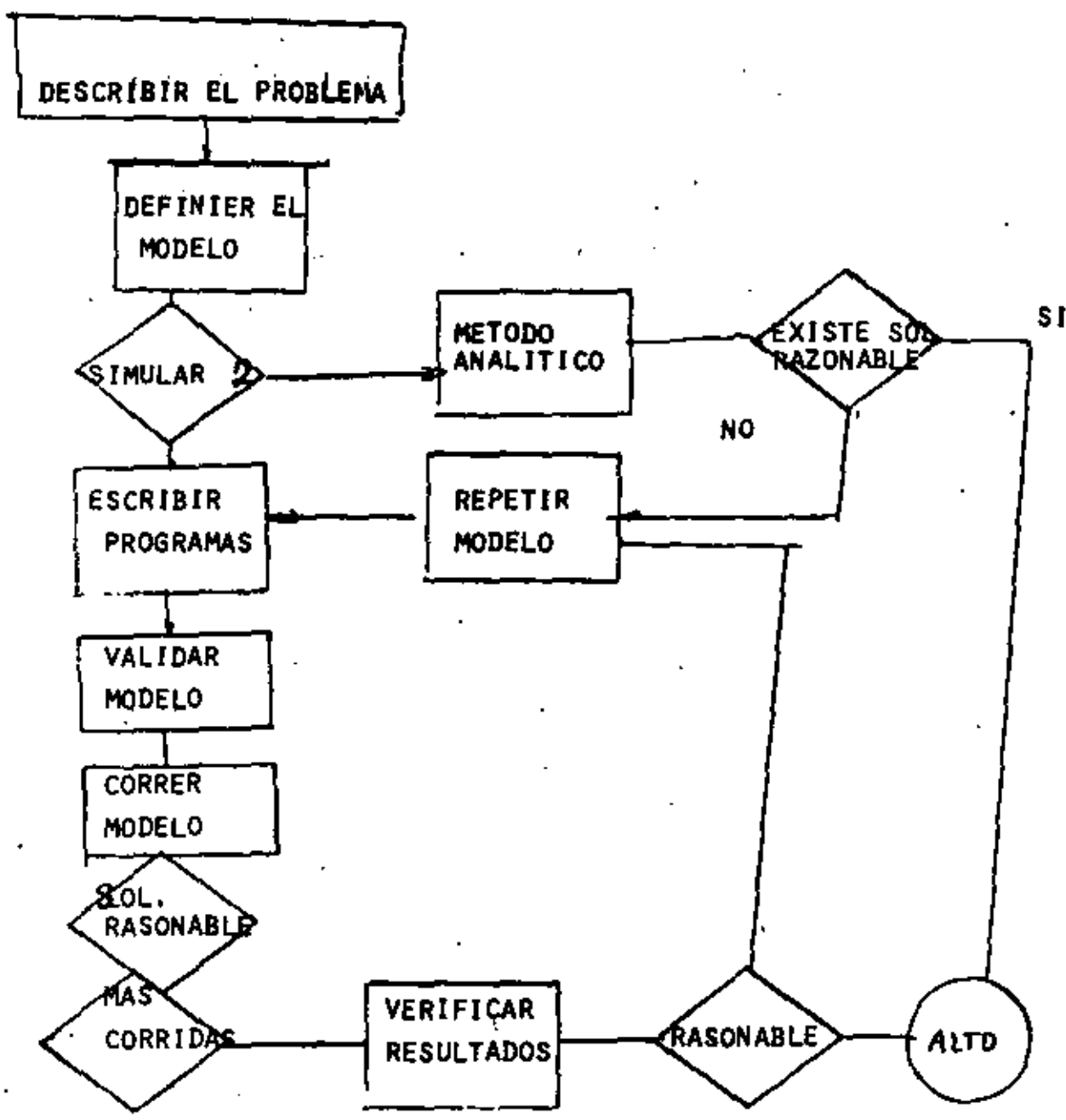
COMO SE PUEDE VER EN LA FIGURA ANTERIOR EL CASO A PRESENTA UN MERCADO ESTABLE EN EL CUAL EL PRECIO SE ESTABILIZA DESPUES

DE 5.43 UNIDADES, EL CASO (B) ES INESTABLE COMO UNA FLUCTUACION. ESTE TIPO DE MODELOS POR SU MANERA ESPECIAL DE RESOLVERSE GRAFICAMENTE (MASA ENTRETEJIDA O TELARA A) SE LLAMAN DE COBWEB EL METODO SE ILUSTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA PARA EL CASO ESTABLE. LAS LINEAS PERPENDICULARES RELACIONAN LA DEMANDA Y LA OFERTA, SE INICIA CON UN PRECIO 1 , UNA LINEA HORIZONTAL A LA OFERTA DETERMINA LA OFERTA A PRODUCIR A ESE NIVEL DE PRECIOS.

UNA LINEA VERTICAL HACIA LA DEMANDA DETERMINA EL HECHO -- QUE EL MERCADO ESTA "LIBRE" AL HACER LA DEMANDA IGUAL A LA OFERTA. CON ESTA PEQUEJA OFERTA, EL PRECIO SUBE RAPIDAMENTE, -- CREANDO UNA NUEVA DEMANDA, QUE CREA UN NUEVO PRECIO (BAJO) Y -- ASI SUCESIVAMENTE.



VEAMOS A CONTINUACION EN EL SIGUIENTE GRAFICO QUE ES AUTOEXPLICATIVO EL PROCESO DE SIMULACION.



VEAMOS A CONTINUACION UNA BREVE INTRODUCCION AL LENGUAJE DE SIMULACION DYNAMO, ASI COMO UNA APLICACION UTILIZANDO ESTE.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

D Y N A M O

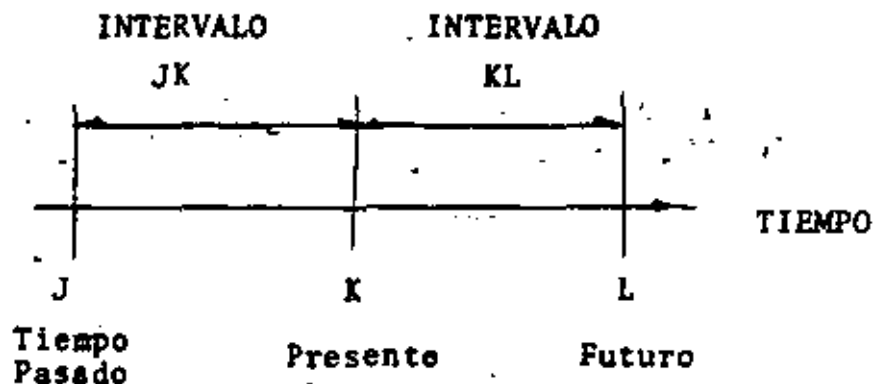
M. en C. Marcial Portilla Robertson

OCTUBRE, 1982

DYNAMO

1.- NOTACION EN EL TIEMPO Y TIPOS DE VARIABLES

La base de la notación de tiempo, es el procedimiento mediante el cual la computadora calcula los resultados, - - esto es, mover en forma discreta (por pasos) las variables, y hacer un cálculo en cada paso



El tiempo para el cual se hacen los cálculos se llama TIME, - Tiempo Presente TIME K.- Tiempo Pasado en el cual se hicieron los cálculos TIME J.- ; Intervalo de tiempo TIME JK, ó -- TIME KL.

NIVEL.

Un nivel, el cual es calculado en el tiempo K, es una cantidad que depende del valor del tiempo J, y otras cantidades - del intervalo JK. (El nivel de un inventario hoy no es el -- mismo que el de ayer)

TASA (RATE).

Las decisiones en los modelos son "TASAS". La tasa es un -- flujo de "TANGIBLES" de un nivel a otro.

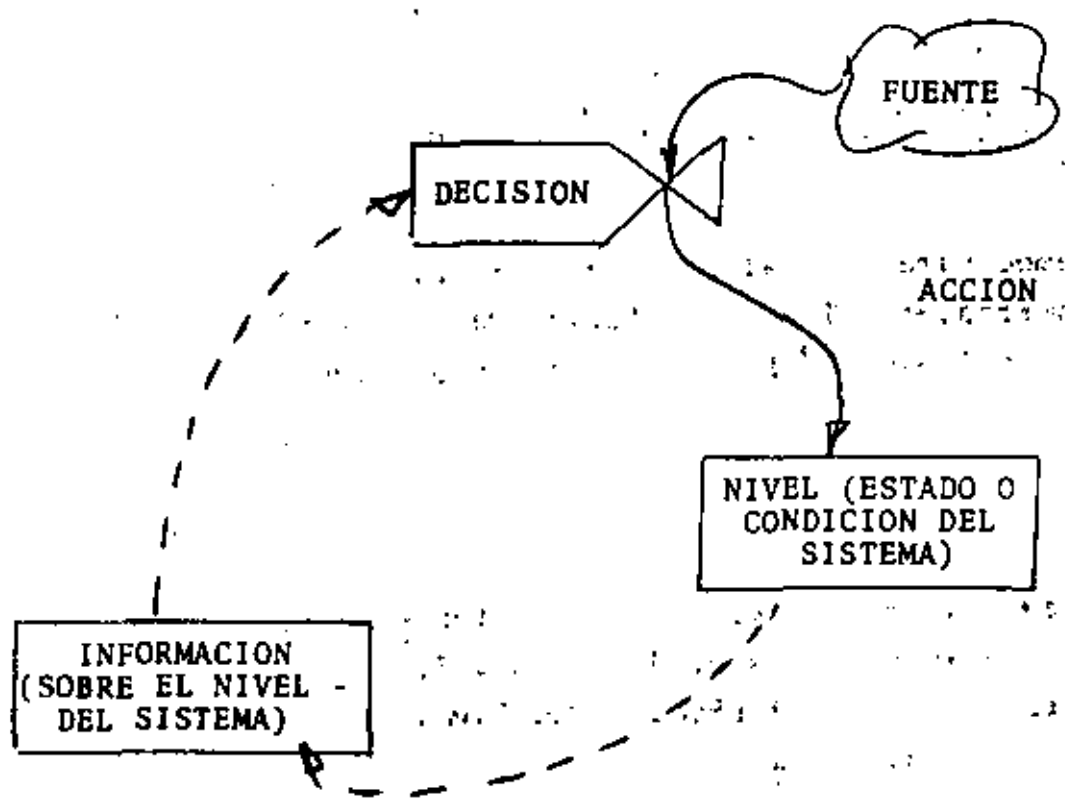
AUXILIAR.- (AUXILIARY)

Son variables introducidas para simplificar la tasa de las ecuaciones algebraicas.

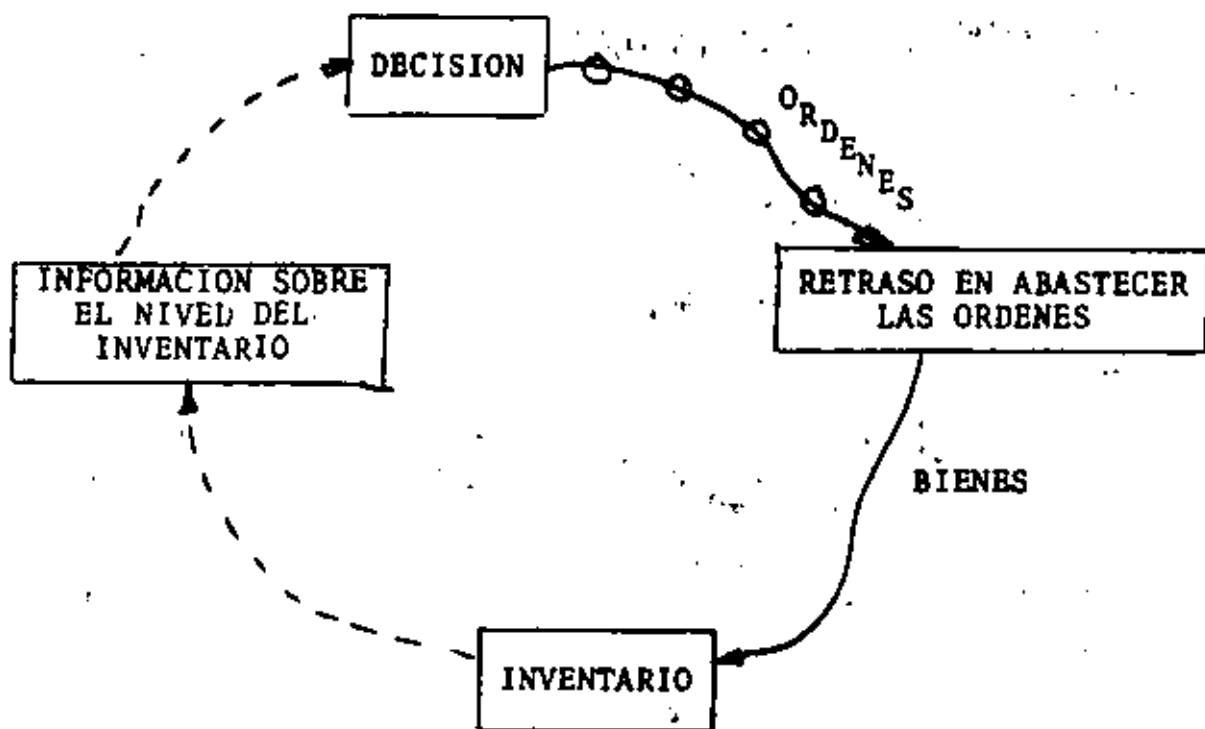
ORDEN DEL COMPUTO

El orden en que se llevan a cabo las computaciones es el siguiente:

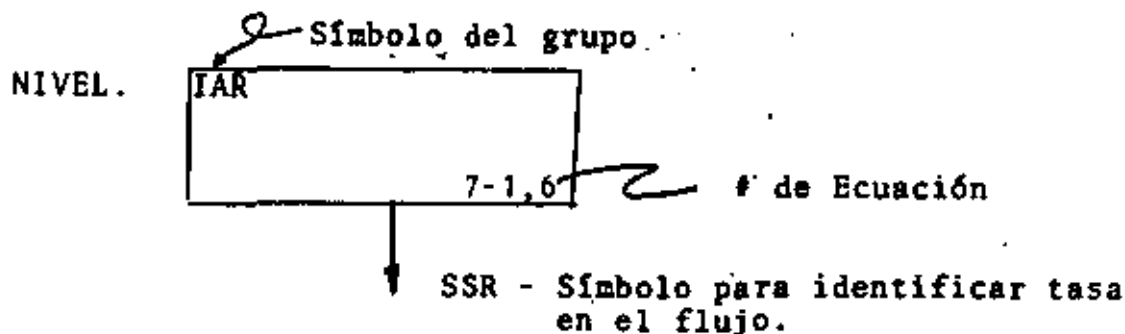
TIME K.- es el primer nivel, estos cálculos dependen de TIME J, y TIME JK, después las auxiliares, las cuales se computan con valores del último TIME K.



¿ COMO SE VERIA EL SIGUIENTE DIAGRAMA EN SU SISTEMA DE ORDENES DE INVENTARIOS ?



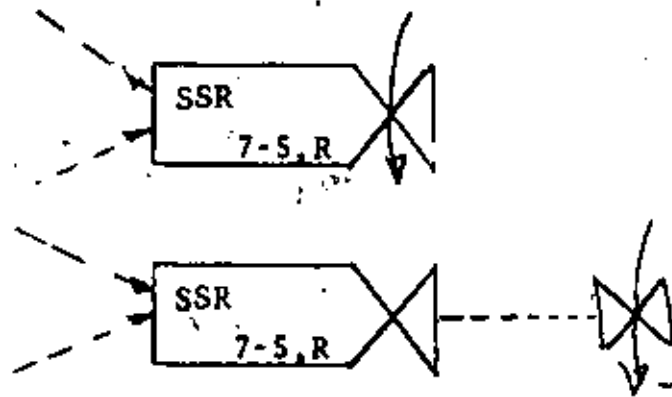
NOTACION QUE USAREMOS.



FLUJOS:

- > INFORMACION
- > MATERIALES
- o-o-o-o-o-> ORDENES
- > CAPITAL, EQUIPO, HERRAMIENTAS, FABRICAS
- \$--\$--\$-> DINERO
- > PERSONAL, POBLACION

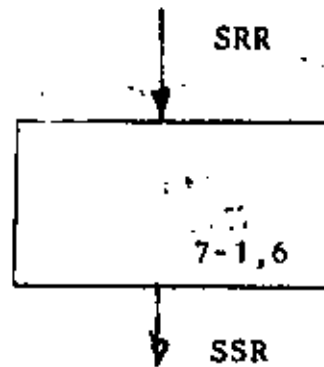
FUNCIONES DE DECISION (ACTUAN COMO VALVULAS EN LOS CANALES DE FLUJO)



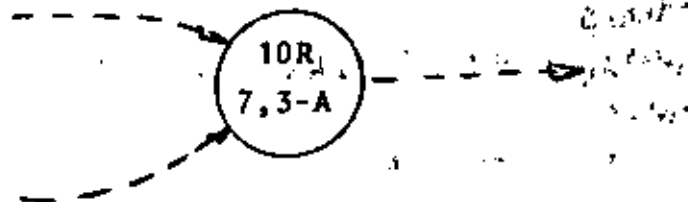
FUENTES Y POZOS



SALIDA Y ENTRADA DE MATERIAL O INFORMACION



VARIABLES AUXILIARES





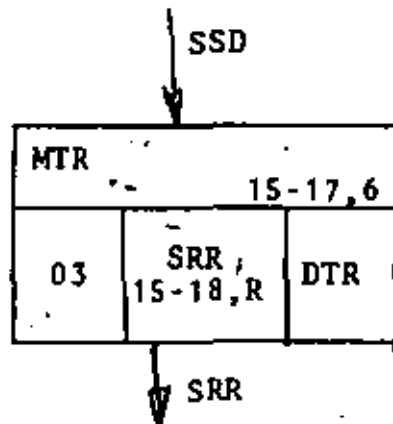
PARAMETROS Y CONSTANTES

VARIABLES EN OTROS DIAGRAMAS

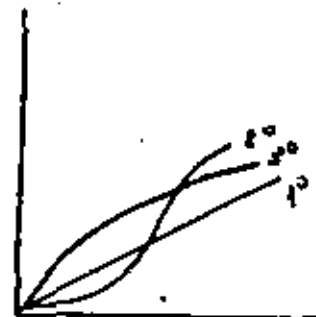
(D F D 15 - 24)

(M T R 15 - 17, 6)

RETRASO. Los retrasos exponenciales pueden ser representados por una combinación de niveles y R tasas de flujo.



3 tipos de retraso



SSD TASA DE ENTRADA

MTR CANTIDAD (NIVEL) EN TRANSITO

15-17-6 ECUACION PARA EL NIVEL EN TRANSITO

03 ORDEN (3) DEL RETRASO

DTR CONSTANTE DE TIEMPO DEL RETRASO

SRR TASA DE SALIDA

LINEAR BOX CAR TRAIN

EQUIP	47, B
BOXLIN	15,
	2 años
*1	44R,L
* 2	
* 5	43, L
* 15	

BALVAN

- EQUIP Nombre genérico dado al tren
 47, B # de ecuación que satisface las características del BOX CAR TRAIN
 BOXLIN Especifica una progresión lineal, de acuerdo al último BOX
 15 # de boxes en el tren
 2 AÑOS Intervalo (pasos de 2 años)

El flujo de equipo a la caja (BOX) uno — y es acumulado por la ecuación de nivel #42

Equipo sale de la caja 5, controlado por la tasa que es integrada por la ecuación 43

La caja 15 * se descarta

Las cajas pueden ser identificadas por EQUIP*1, EQUIP*2, etc.

CYCLIC BOXCAR TRAIN
CAJA CICLICA

MSS	62, B
BOX CYC	12
	4,3 sem
*1	16, L
*2	
*3	
*4	
*12	

MSS Nombre genérico dado a todo el Tren
 62,B # ecuación que nos da las características del Tren
 BOXCYC Especifica la recirculación de la última caja en el
 Tren
 A la primera - 12 # de cajas en el LOOP
 4,3 Semanas Intervalo
 MSS*4 Identificación de la caja-4

RETRASOS.

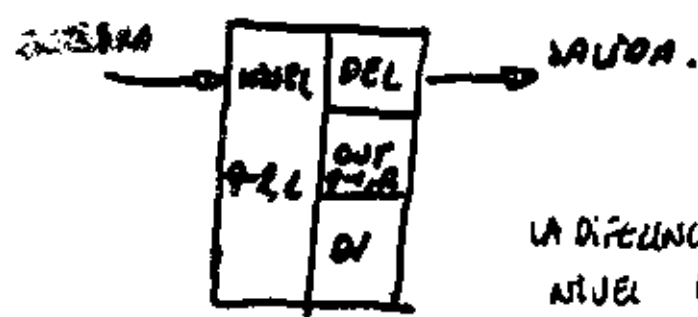
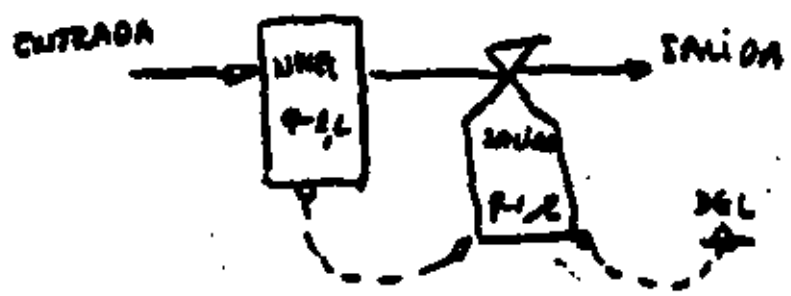
Los retrasos son muy importantes en las simulaciones con DYNAMO, en especial cuando se tienen lasos de retroalimentación, aunque en general se tienen retrasos en todos los canales, si éstos no resultan muy importantes (significativos) en el comportamiento del sistema, no los consideraremos.

CARACTERISTICAS de los retrasos (DELAY)

- 1.- Intervalo de tiempo en el cual se considera el DELAY, éste afecta al estado estable del sistema
- 2.- El DELAY describe su "Respuesta Transitoria"

sobramente consideraremos DELAYS EXPONENCIALES

DELAY DE 1^{er} ORDEN

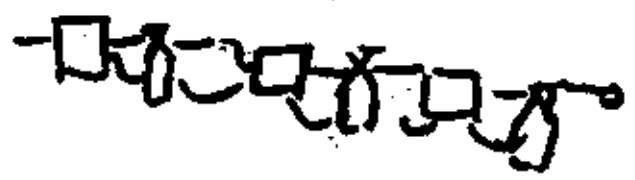
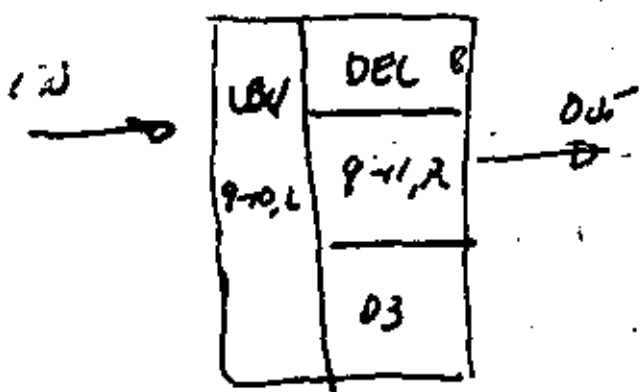


LA DIFERENCIA ENTRE LA ENTRADA Y LA SALIDA DEPENDE DEL NIVEL (LEVEL) y EN EL PROMEDIO DEL DELAY (CONSTANTE) LA ENTRADA PRODUCE DE ALGUNA MANERA DELAY. LA SALIDA SERA

$$OUT \cdot K_L = \frac{LEVEL \cdot K}{DEL} - q-1, R$$

OUT = OUT flow (UNIDADES / TIEMPO)
 LEV = LEVEL (ALMACENADO EN EL DELAY) UNIDADES.
 DEL = DELAY - CONSTANTE QUE REPRESENTA EL TIEMPO
 1/2 PARA CORRER EL DELAY - TIEMPO.

DELAY DE 3^{er} ORDEN



LA REPRESENTACION DE UN DELAY NO ESTA COMPLETA SINO FALTA UNA GUARDIA QUE...

El nivel LEV guardado en el Delay es acumulado como la diferencia entre el flujo de entrada y el de salida.

$$LEV.K = LEV.J + (DT) (IN.JK - OUT.JK) - 9-2-L$$

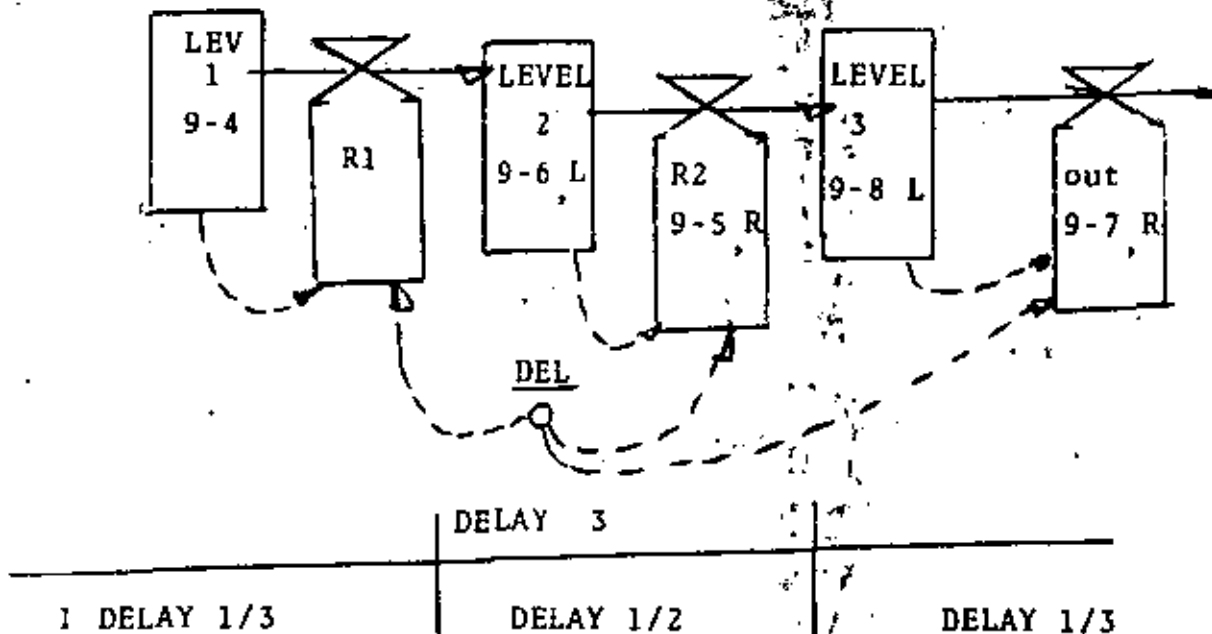
LEV = el LEVEL almacenado en el Delay (unidades)

DT = El intervalo de solución entre evaluaciones sucesivas de la ecuación (tiempo) ← muy importante

in = in#flow - dado por otra ecuación (unidades/tiempo)

OUT = OUTflow en unidades (tiempo)

en la caja anterior 0-10,L es el nombre de la variable de nivel y la ecuación definiendo el nivel de este caso D3 es un Delay de 3er. orden el cual se obtiene haciendo Delays en cascada



Un Delay de 3er orden estará definido por 2 ecuaciones 9-1,R y 9-1,L

$$OUT.KL = \frac{LEV.K}{DEL 3}$$

Veamos el diagrama anterior en ecuaciones.

$R1.KL = \frac{LEV1.K}{(DEL)/3}$	9-3,R
$LEV1.K = LEV2.J + (DT)(IN.JK - R1.JK)$	9-4,L
$R2.KL = \frac{LEV2.K}{(DEL)/3}$	9-5,2
$LEV2.K = LEV2.J + (DT)(R1.JK - R2.JK)$	9-6,2
$OUT.KL = \frac{LEV3.K}{(DEL)/3}$	9-7,R
$LEV3.K = LEV3.J + (DT)(R2.JK - OUT.JK)$	9-8,L

SI QUEREMOS LA CANTIDAD TOTAL

$$LEV.K = LEV1.K + LEV2.K + LEV3.K$$

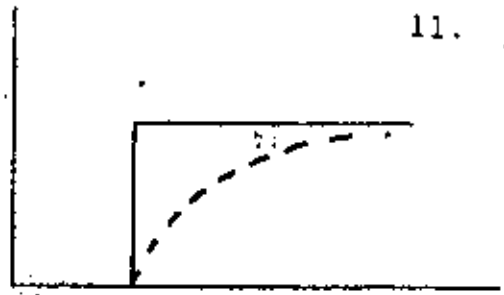
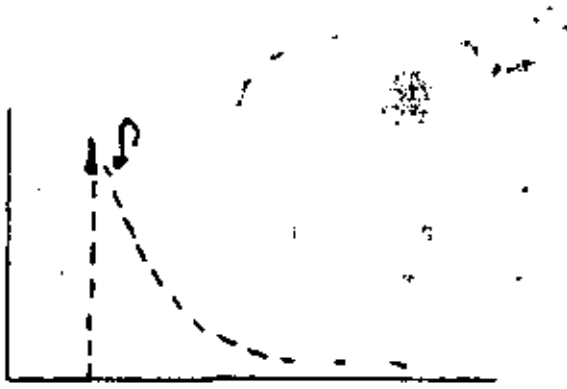
Notese que sería laborioso hacer lo anterior siempre, por lo que si queremos (como en general sucede) la cantidad total - haremos lo siguiente:

$LEV.K = LEV.J + (DT)(IN.JK - OUT.JK)$	9-10,L
y abreviando 9-3 9-8	9-2,L

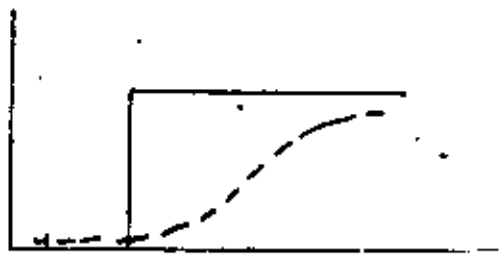
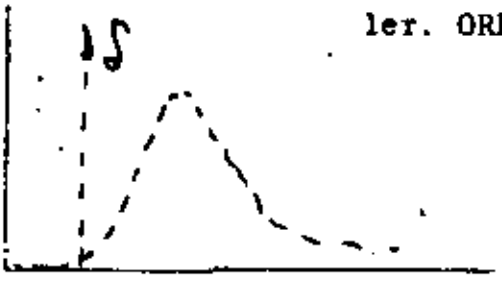
$OUT.KL = DELAY 3 (IN, JK, DEL)$	9-11,R
----------------------------------	--------

Este DELAY se puede escribir de varias formas #'s, las cuales se verán más adelante

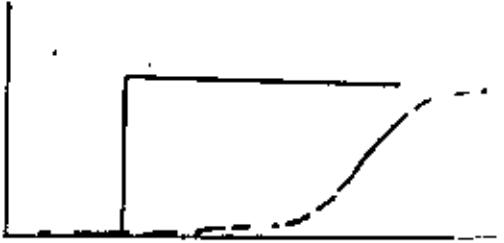
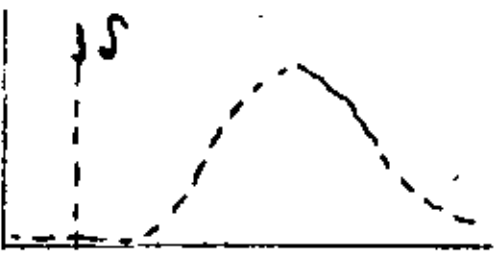
¿ COMO SON LOS DELAYS VS TIEMPO?



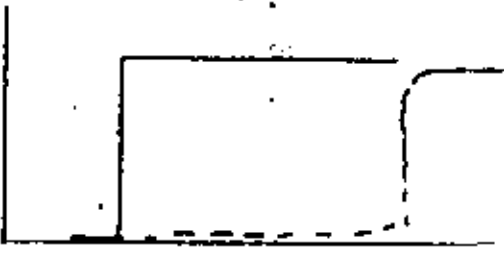
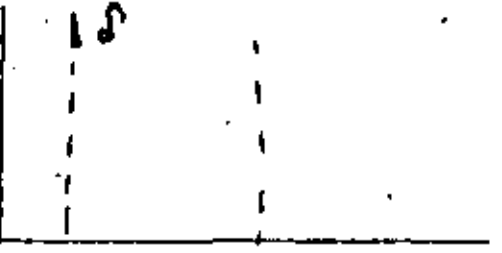
1er. ORDEN



2o. ORDEN



3er. ORDEN



DIRECTO

En resumen que tipos de variables (cantidades) tenemos?

- L LEVEL (NIVEL)
- A AUXILIAR
- R RATE (TASA)
- C CTE DADA
- N INITIAL VALUE - VALOR INICIAL
- B
- S SUPLEMENTARIA

Un Nivel (level) es una cantidad cuyo valor en un tiempo dado es calculado de su valor en el tiempo pasado de su tasa en -- cambio durante el tiempo en que se hacen los cálculos.

AUXILIAR (DX).- Es una cantidad introducida para simplificar un conjunto de ecuaciones, o porque no se tiene una ecuación a la mano.- Es auxiliar porque puede ser sustituida o eliminada en la tasa de ecuaciones.

RATE (TASA).- Es una cantidad cuyo valor indica una tasa en el flujo durante un paso en el intervalo.

CONSTANTE .- Es un valor numérico, dado explícitamente y que no cambia en la corrida.

VALOR inicial .- Son valores especificados para diferentes cantidades al inicio de la corrida.

Constante calculada inicial.- son constantes que tienen una relación directa con otra(s) constantes y son calculadas al inicio de la corrida.

Nombres de cantidades.- 5 caracteres y el primero debe de ser alfabético ie AB, inv PRODUL, A31 ER.

Note - Comentarios.

Forma de las ecuaciones.- Ver hojas adjuntas (tomadas del manual Dynamo)

$$V=V+(DT)(P+Q)$$

$$IL V.K=V.J+(DT)(IPJQ)$$

$$V=V+(DT)\frac{(P+Q)}{+y}$$

$$52 L V.K=V.J+(DT)(1/IY)(IP Q)$$

(Modelo tiene 3 sectores Mayoreo y estos sectores
 Fábrica
 Menudeo

son muy parecidos en su forma de operar

En este problema los niveles serán:

- * INVENTARIOS
- * DE EMPLEADOS
- * ORDENES POR SURTIR
- * EQUIPO
- * ORDENES EN TRANSITO
- * BIENES EN TRANSITO

TASAS : (de flujo) estas serán las decisiones 'importantes' las decisiones controla el flujo de las tasas

DELAYS (RETRASOS).- Consideraremos todos los retrasos importantes que sufra el sistema.

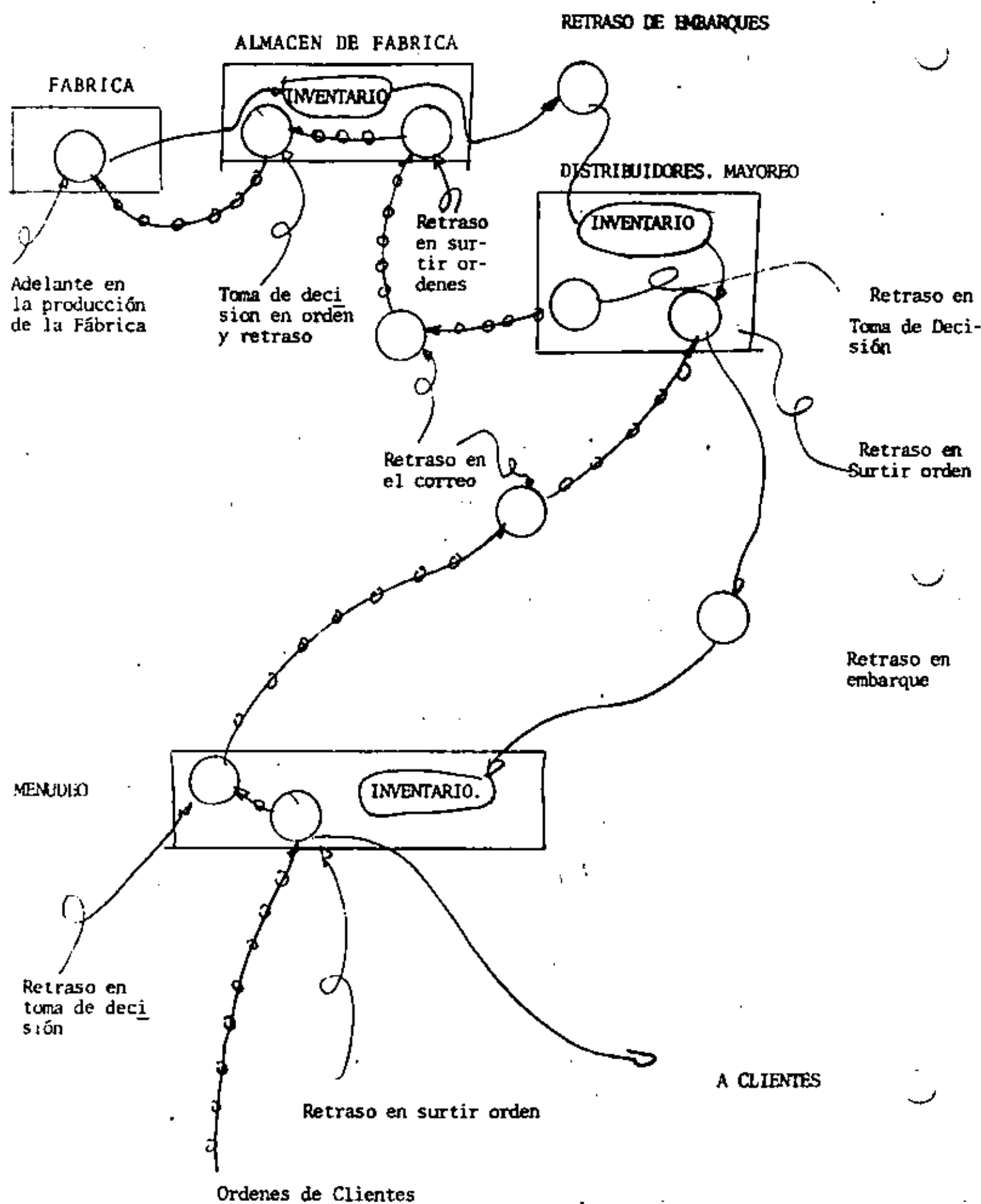
NIVELES MENUDEO (ic.)

- * Ordenes por surtir, o sea pedidos de los clientes que no han sido satisfechos.
- * Bienes en el inventario (nivel de)
- * Ventas (promedio) - utilizar esta información para decidir el nivel del inventario y ordenar a mayoreo.

LAS TASAS

- Ingreso obtenido de las ordenes (flujo) de los clientes
- Tasa de ordenes enviadas a los clientes
- Tasa de ordenes enviadas al distribuidor
- Tasa de bienes recibidos del distribuidor

RETRASOS



Ejemplos tomados del Cap. 15 de dinámica industrial. De J. Forrester.

El inventario en el tiempo K es igual al inventario en el tiempo J más lo que se recibió durante JK, menos lo que se consumió durante JK.

11.* $IAR.K = IAR.J + (DT)(SRR.JK - SSR.JK)$ 15-4 L

DT = 1 (semana)

IAR.- Inventario real actual (bienes)

DT.- Tiempo delta (semanas)

SRR.- Cargamento recibido

SSS.- Cargamento mandado

Similarmente las ordenes no embarcadas en el tiempo K son igual a las ordenes no embarcadas en J, más las nuevas ordenes en JK, menos lo mandado en JK.

$VDR.K = VDR.J + (DT)(RRR.JK - SSR.JK)$ 15-1 L

VDR = ORDENES NO SATISFECHAS (BIENES)

RRR = PEDIDOS RECIBIDOS (BIENES/SEMANA)

SSR = CARGAMENTOS MANDADOS (BIENES/SEMANA)

si.- DFR.- Retraso en surtir las ordenes

IAR.- Nivel actual del inventario y veremos el mínimo

de:

$SSR.KL = \text{MIN} (VOR.K/DFR, IAR.K/DT)$

* ecuación / de nivel.

$$VOR.K = VOR.J + (DT) (RRR.JK - SSR.JK)$$

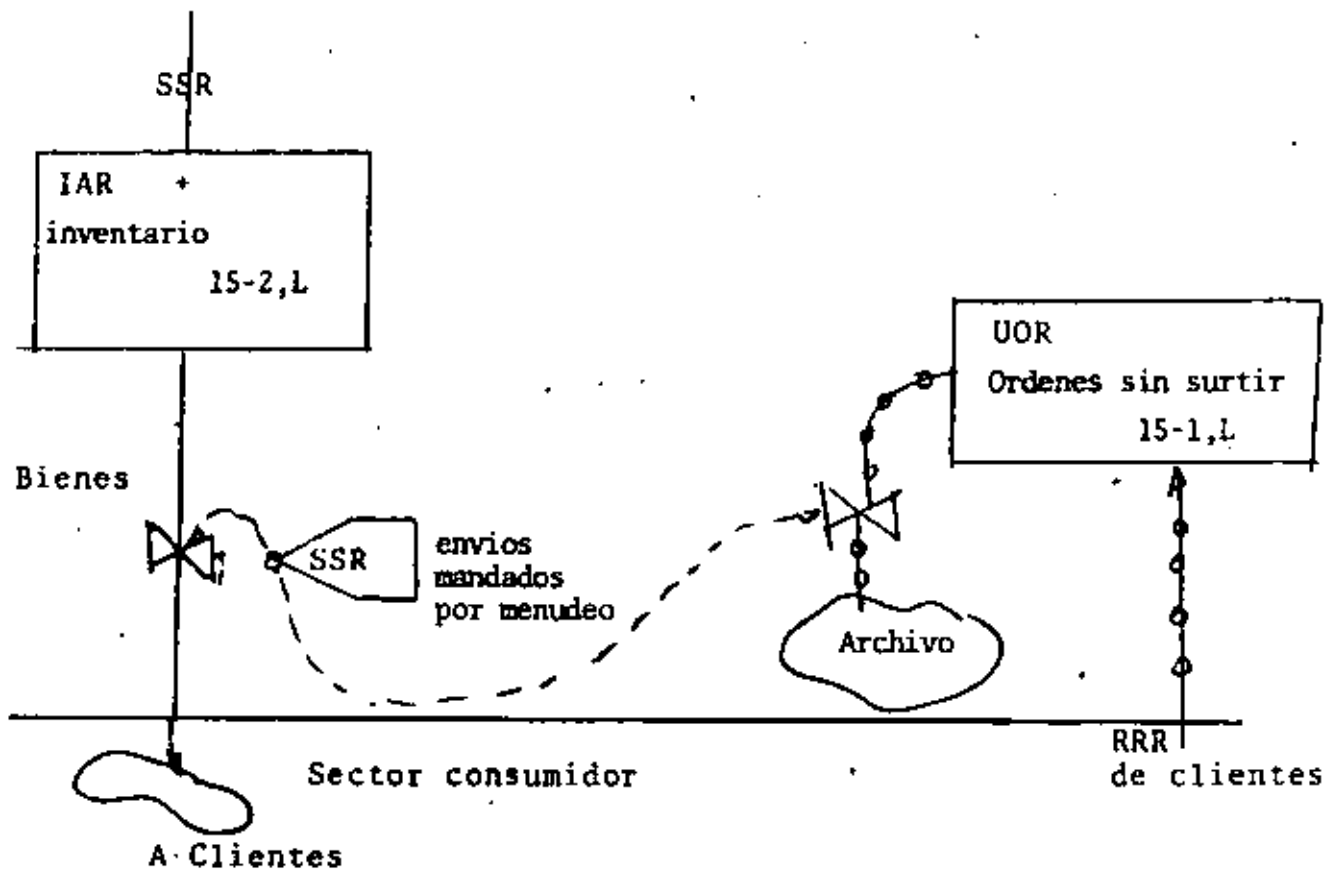
15-1,L

VOR.- Ordenes de menudeo por surtir (unidades de bienes/orden)

RRR.- Requisiciones (ordenes) recibidas en el menudeo (ordenes/semanas)

SSR.- Envios mandados por menudeo (unidades/semana)

DT .- Intervalo de tiempo (semana) entre la solución de ecuaciones.



La dimensión de la ec. anterior será

Unidades = unidades + (semana)

VOR

VOR

DT

$$\left(\frac{\text{Unidades}}{\text{Semana}} \right) - \left(\frac{\text{Unidades}}{\text{Semana}} \right)$$

RRR SSR

Veamos ahora (de la figura anterior el inventario de Menudeo -IAR

$$IAR.K = IAR.J + DT(SSR.JK - SSR.JK)$$

15-2,L

IAR- Nivel actual del inventario menudeo (unidades)

SSR.- Envios recibidos por menudeo (unidades/semana)

SSR.- Envios mandados por menudeo (unidades/semana)

Nótese que las ecuaciones anteriores presuponen varias cosas, por ejemplo: Que los clientes compran (envío de bienes) a una tasa implícita, sin embargo el envío de bienes a clientes depende de la cantidad de ordenes sin surtir (VOR) listas para procesarse.- Nótese que los envíos no dependen de la cantidad, VOR, sino de la habilidad de satisfacer VOR.

$$SSR.KL = \frac{VOR.K}{DFR.K}$$

SSR= Envios mandados del menudeo (a clientes) Unidades/Sem.

DFR= Retraso en llenar las ordenes (semanas)

EL DIAGRAMA COMPLETO SE VERA ASI:

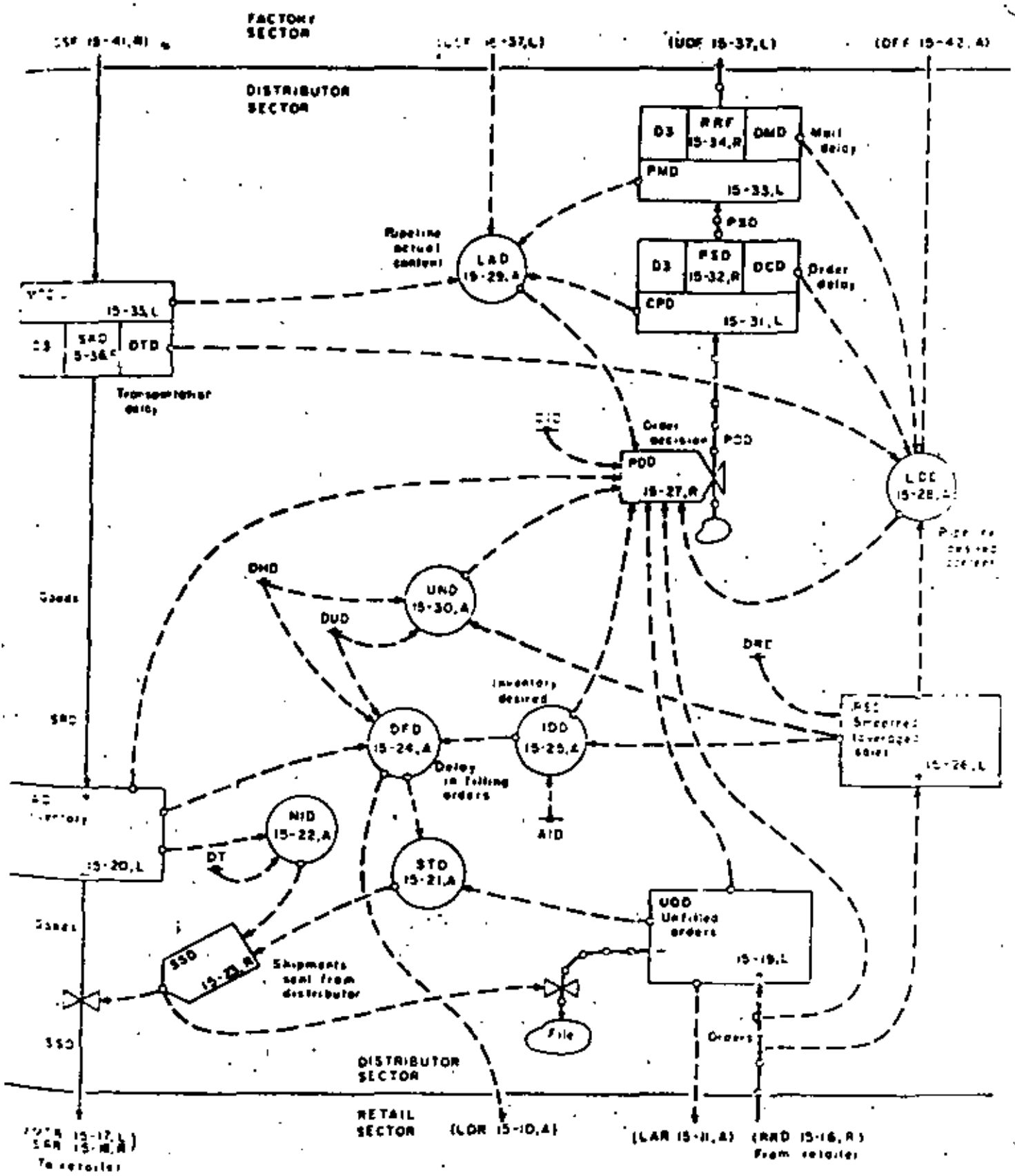


Figure 15-15 Flow diagram of distributor sector.

Por ejemplo: .

Los DELAYS lucirán así:

$CPR.K = CPR.J + (DT) (PDR.JK - PSR.JK)$ 15-13,L

$PSR.KL = \underline{DELAY3} (PDR.JK, DCR)$ 15-14,R

donde

CPR= ordenes en proceso guia oficina de menudeo (unidades)

PDR= Tasa de decisión en la compra (menudeo) Unidades/semana.

PSR= Ordenes de compra mandadas del menudeo (Unidades/semana)

DCR= Retraso en la oficina en las ordenes de menudeo.

DELAY3.- Función de retraso 3er. orden.

y una auxiliar se verá así

$UNR.K = (RSR.K) (DHR + DUR)$

UNR.- Ordenes sin surtir en menudeo (nivel normal) unidades

RSR.- Requisiciones 'no avisadas' (IMDUTHED) en menudeo (Unidad/semana).

DHR.- Retraso en el manejo de tiempo en menudeo (semanas)

DUR.- Retraso en surtir ordenes, por no tener estas en Stock . (Semanas).

La clase pasada se dijo poco del SMOOTH

(no existe en todos los Dynamos, solo en versión II y III, esta función hace lo siguiente:

El "SMOOTHING" es un "filtro" para ruidos cortos (en tiempo) el 'Smoothing' cambia la sensibilidad del sistema, para distintas periodicidades que pueden existir en las fluctuaciones de los Datos.

Una vez escritas las ecuaciones en Dynamo existen 5 puntos que debemos verificar.

- 1 . Tenemos valores iniciales ? TIME=0
- 2 . Tenemos datos de entrada?
- 3 . ¿Asignamos valores a nuestras constantes? INV=3
- 4 . Debemos graficar y/o tabular algunas variables
- 5 . Debemos identificar nuestro modelo

1.- 12N VOR=(DFR)(RRR) iNitial
 supongamos que RRR tiene un valor inicial, es

 C RRR=XXX NOR

Supongamos que el nivel del inventario es suficiente si
 $SSR = VOR/DFR$, si $SSR=RRR$ debemos entonces hacer $VOR=(DFR)(RRR)$
 y tenemos un valor inicial para uno de nuestros valores.

2.- El programa debe tener datos de entrada (los cuales no se pueden cambiar durante la corrida. (véase Cap. 12 industrial Dynamics)). Utilicemos un escalón.- para determinar si los valores fueron usados durante un período estable, vamos a retrasar la entrada 5 semanas.

 7R RRR.KL=RRI+RCR.K
 45A RFR.K= STEP(STH,5)

donde STH es la altura del escalón

(Esta cte, se puede cambiar)

3 Ctes.

 C LOCO=8
 C DFR =1
 C DTH =100

Los variables productores
valores de 10^{-30} $\frac{a}{10^{+33}}$
pueden ser $10^2=100$

SALIDA.- Hay que escalar cada variable de salida en 10^3 de
ie E+03 $\sim 10^3$ el resultado a la salida será 1000 veces el valor
actual.

En forma tabular. E+00 por Default.

PRINT Time/1) IAR, IDR/2) VOR/3) RRR, SSR/) PSR, SRR

. Podemos imprimir hasta 10 variables.

. El tiempo siempre se imprime sin ser requerido.

TIME	IAR IDR	VOR	RRR SSR	PSR SRR
E+00	E xx JAR xx JDR	xx	xx xx	xx xx
0.08	8000.0 JAR 8000.0 IDR	1000.0	1000.0 100.0	100.0 100.0

misma columna

cambio de columna

. Se puede utilizar mas una tarjeta de print.

. Solo se puede utilizar una tarjeta de plot.

PLOT :IAR=I, VOR=U / RRR=R, SSR=S, PSR=P, SRR=Q.

LETRA O SIMBOLO EN LA GRAFICA.

Se necesitan 3 tarjetas más para correr en Dynamo

SPECification

SPEC DT=0.1/length=50/PRT PER=2/PLT PER=0.5

MODELO PRODUCCION-DISTRIBUCION DE UN SISTEMA.
(TOMADO DE INDUSTRIAL DYNAMICS CAP. 15).

Este modelo es muy parecido al visto en clase y modelado en -
FORTRAN.- Las actividades principales en el modelo de esta clas
se serán:

- * MATERIALES
- * ORDENES
- * DINERO
- * PERSONAL
- * EQUIPO (CAPITAL)
- * INFORMACION

Para simplificar el modelo consideremos que no son de gran im-
portancia el dinero, (flujo de) pues no influye este en la pro-
ducción, ordenes de compra etc.

También quitemos al personal, y al equipo y presuponemos que: -
ambos entren en nuestro sistema.

Veamos como quedaría un modelo simplificado de producción dis-
tribución.

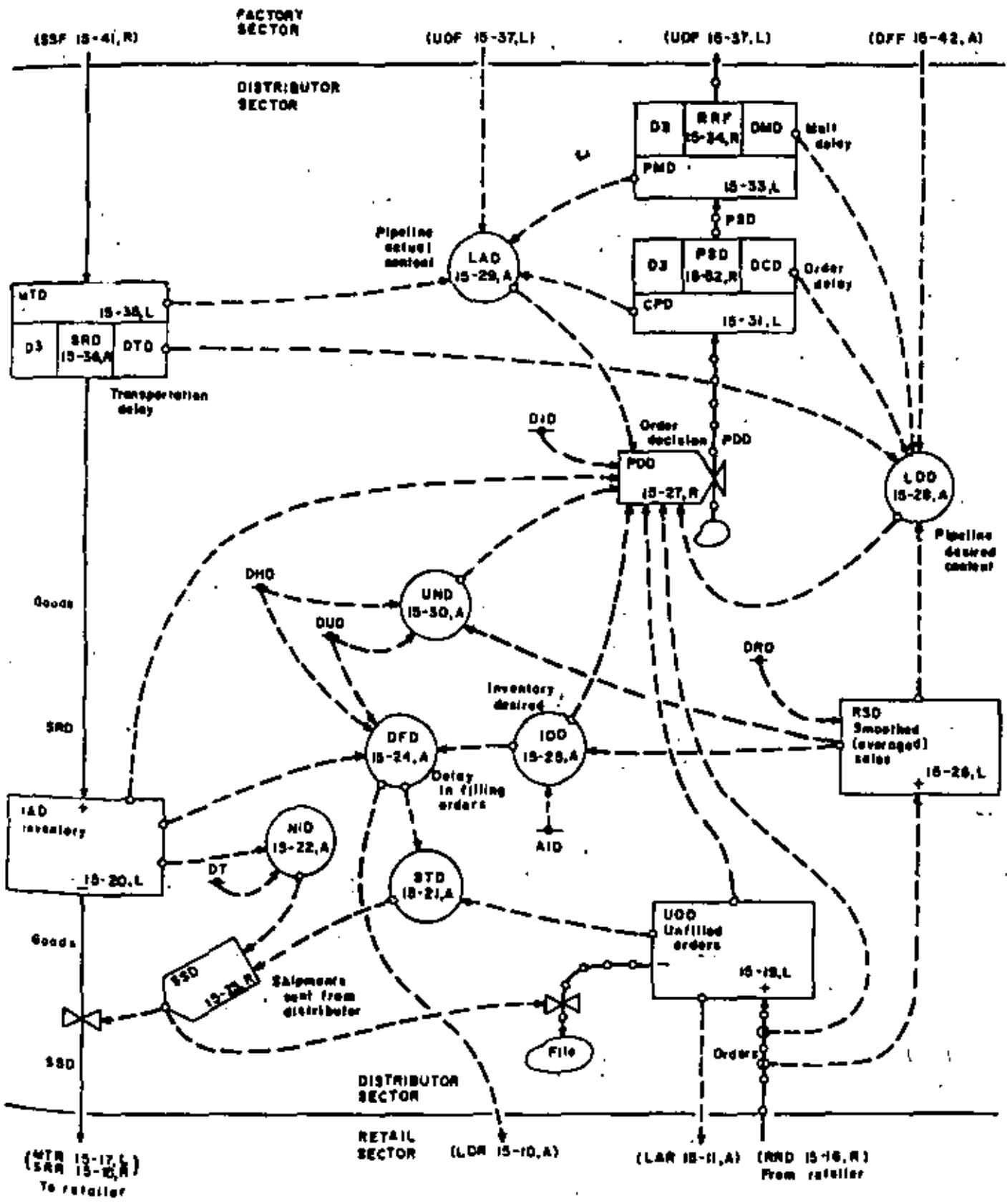


Figure 15-15 Flow diagram of distributor sector.



**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 Zenón

OCTUBRE, 1982

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

1 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 para 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 X 5 X 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 considerarán 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 está 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 cuales 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 cuales 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.

Excluimos 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 las 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 = (x₁, x₂, ..., 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

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:

$$\lambda_i > 0 \quad V_i \quad \text{y} \quad \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N = 1$$

$V_i^+(x)$ es una función valor $V_i^+(V_i^+(x))$ que refleja las comparaciones interpersonales hechas por el decisor pero como $V_i^+(x)$ representa las preferencias del decisor sobre el individuo "i", entonces:

$$V_i^+(x) = V_i^+(x).$$

$V_i^-(x)$ Es la función valor que refleja las preferencias de los individuos, con la condición de que

$$V_i^-(x) = 0 \quad \text{para la alternativa menos deseado y}$$

$$V_i^-(x) = 1 \quad \text{para la mejor alternativa.}$$

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-

3

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

$$U(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot U_i(x) \quad (5)$$

donde:

$$\lambda_i > 0 \quad V_i \quad \text{y} \quad \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N = 1$$

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

$$U(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i U_i(x) + \sum_{\substack{i=1 \\ J>I}}^N \lambda_{iJ} U_i(x) U_J(x) + \dots + \lambda_{12} \dots \lambda_{1N} U_1(x) U_2(x) \dots U_N(x) \quad (6)$$

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"

$$U(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i U_i(x) + \sum_{\substack{i=1 \\ J>I}}^N \lambda_i \lambda_j U_i(x) U_j(x) + \dots + \lambda_1^{N-1} \lambda_2 \dots \lambda_N U_1(x) \dots U_N(x) \quad (8)$$

$$0 \leq \lambda_i < 1 \forall i, \text{ y } \lambda_i > -1. \text{ y } 1 + \lambda = \sum_{i=1}^N (1 + \lambda \lambda_i)$$

b)

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

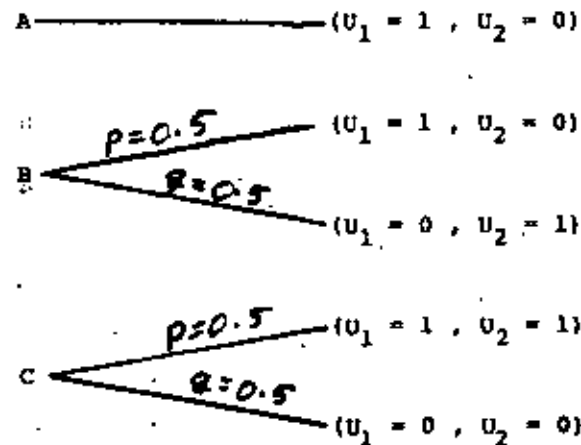
4.3.1 Suposición ‡ 3 "Independencia en aditividad"

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 iésimo 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)

$$U(x) = \lambda_1 U_1(x) + \lambda_2 U_2(x) + \lambda_{12} U_1(x) U_2(x) \quad (11)$$

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 multilíneal 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 Máximo 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 $U_{i,j}$ no depende del nivel de $U_{i,j}$.

Esta condición se satisface si todos los miembros

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 sí 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 5 y asignar las constantes λ_i^g , 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, pudiéndose así facilitar el consenso.

Cuando el consenso no pueda 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 consenso.

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.; RAIFYA, 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.**

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

THE SYSTEMS' PARADIGM CRISIS AND THE EMERGENCE OF NEW FRAMES:
SYSTEMIC-NETFIELDS

Ing. Raúl Carbajal

OCTUBRE, 1982

THE SYSTEMS' PARADIGM CRISIS AND THE EMERGENCE OF NEW FRAMES:
SYSTEMIC-NETFIELDS

Raúl Carvajal
Institute for Applied Mathematics and
Systems
National University of Mexico
IIMAS-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.

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, 81]. 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 [38, 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

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].

4. 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, 2.3).
- 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].

5.

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 researchers. 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.

4

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. Mosarovic 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, 23, 44, 47, 49, 50, 51, 53, 63, 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 computing 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.

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. Forster [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 unanticipatable characteristics of super-ordinate-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-

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 proactive 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]. Pandy 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.

9

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 status 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].

(10)

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 Haturama 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.

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. Forster [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 Nitroff stated the need for developing a theory of error, pathology and disequilibrium in organizations [17]. The recognition of pathology requires the recognition of normalcy, and thereby, deviant behavior. Normalcy 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 Ellon [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

V. Limiting Assumptions Implicit in Systems Frames.

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.

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.

In the other way a loosely coupled system tends to be more like a network than like a system. Most system frames tend to overestimate the degree in which the elements are interrelated: "if there is not a meaningful relationship between components it is not because it does not exist, it is because it is hidden".

In a tightly coupled system frame, disturbances in one element are readily transmitted to the whole system making possible a rapid and effective adaptation, and ideal property in rapid changing environments. But it may, also, lead to great instability if the input overtakes the systems capability for adaptation, or may create a state of vulnerability if the proper function of the system is based on the proper function of each of the components. An organismic system stereotype such as the human body or the nervous system are examples of "tightly coupled" frames.

Limitation to this ideal has been expressed by different authors. Vickers [106] stated that "we cannot avoid the demands of an increasingly interdependent world, but we should minimize them when and where we can". Trist [101] states that in

(13)

network like structures lie alternatives to over-centralization and chaos: "in groups and temporary systems arising from the network formed by future oriented individuals lies the greatest leverage for change". He also states: "The development of self-standing primary work systems (more autonomous, less tightly coupled) containing mixes of groups with commonly shared skills, matrices with partly overlapping skills and networks of mainly specialist skills constitute, in my postulate, a new basis for the effectiveness of socio-technical organizations" [113].

2. Well-behaved components. In a "well-behaved" system stereotype components must contribute to the proper behavior of the system. A non-contributing component is either a deviant which has to be "fixed" or replaced, or it is not part of the system.

The organismic frame provides an example of a well-behaved, as well as a tight system stereotype. The parts contribute to the whole, not only because they are components, but, also, because their non-contribution means their eventual self-destruction. In this type of stereotype, parts are not autonomous. In general, in a systems frame where parts are not teleological entities, components are subordinate to the whole. They must support the maintenance of the unity of the whole system. Development of a part makes sense only if it contributes to the development of the system.

But even in a teleological components system frame a component must contribute to the whole in order to qualify

14

as such. Churchman states that "the differentiating features of systems is that they can be separated into parts, and that parts work together for the sake of the whole" [30]. He identifies a component by its ability to benefit a system. That is, if a system can influence another entity to do something for its benefit, then the latter is a component to the former. Van Gigch [104] stated that "one of the objectives of the systems approach is to insure that all subsystems work together and contribute toward the total system's objectives".

Foerster [42], referring to the limitations of the analogies between biological and social systems, states that such analogies can be not only misleading, they can even be dangerous. He exemplifies this point using a slogan printed on the walls on Germany during Hitler years: "The cell is subservient to the good of the body as a whole, and so is an individual subservient to the good of the nation". Limitations of the "well behaved" stereotype are broader than the implication that components are mainly instruments to the system. As it is almost impossible to think of a power struggle between the heart and the liver,

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?

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's 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 [101]. 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.

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, 106) 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 excite; 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 socio-technical systems fields".

A systemic-field frame tries to describe systems whose components are in a state of dynamic equilibrium. The limit:

cases of a systemic-field are a well-behaved system on one hand and aggregate of conflicting elements on the other.

20

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 even though, 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-net-fields: 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. Baha, 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., Banne, 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. Borlinski, D., On Systems Analysis: An Essay on the Limitations of Mathematical Methods on the Social, Political and Biological Sciences, Cambridge: MIT Press, 1976.
16. Borlinski, D., Adverse notes on systems theory, in reference 57.
17. Bertalanffy, L. Von., The theory of open systems in physics and biology, Scienc, 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, 119-131.
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 P.P. Banika (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.

24

29. Churchman, C.W., The Systems Approach, New York: Delacorte Press, 1968.

30. Churchman, C.W., The Begining of Inspiring 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, R.R., The occupational saga on higher education, Administrative Science Quarterly, 17, 1972, 178-184

34. Crano, 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, 19-21.

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. Forster, H. Von., The curious behavior of complex systems: lessons from biology, in Ref. 67.

43. Forster, H., 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.D., 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, 1., 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.C. (ed), Trends in General Systems Theory, New York: Wiley, 1972.

57. Klir, J.C. (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. Lipp, 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. Lecuw, 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. Marshall, 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 Mosgrave (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., Pinning'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. Slovin (eds), The Management of Organization Design: Strategies and Implementation, New York: American Elsevier, 1976.

80. Mullins, M.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-B.

49
26

86. Pondy, L.R., The other hand chipping: and information processing approach to organizational power, in T. Hammer and S. Bacharach (eds), Reward Systems and Power Distribution, Cornell University, School 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. Ralft, R.A., Must we revolutionize our methodology?, Interfaccs, 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, H.M., Toward formal foundations of teleological systems science, General Systems, XXI, 1976, 145-152.

93. Scott, W.C., 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.

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. Waick, K.E., Middle range theories of social systems, behav. Sci., 10, 6, 1974.

108. Waick, K.E., Educational organizations as loosely coupled systems, Administrative Science Quarterly, 21, 1976, 1-19

109. Felony, 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 ISOBAR 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

APLICACION DE LA COMPUTACION EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Análisis de Sensibilidad

M. en C. Ing. Rodolfo Téllez Gutiérrez

OCTUBRE, 1982

Dentro de las ramas de la Ingeniería civil, pueden considerarse a las vías terrestres como fundamentales para el desarrollo de un país. Por los beneficios socioeconómicos que generan, la magnitud de la inversión que representan, el tiempo que deben mantenerse prestando un servicio adecuado, etc., es claramente palpable la importancia de su correcta planeación, diseño y construcción.

El diseño de pavimentos para carreteras y aeropistas involucra estudios complejos de suelos y materiales, su comportamiento bajo cargas y su habilidad para soportar el tránsito durante todas las condiciones climatólogicas a lo largo de su vida de diseño útil.

El campo de diseño de los pavimentos debe ser dinámico conforme a la tecnología cambiante día con día y por los requerimientos impuestos por el creciente tráfico aéreo y carretero y las sobrecargas involucradas. En el pasado, la "regla del dedo" basada en experiencias previas gobernaba y tipificaba los diseños. Durante el período de 1920 a 1940, los ingenieros se concentraron en evaluar propiedades estructurales de los suelos, por lo que fue posible conseguir gran cantidad de información y datos que permitieron desarrollar teorías y modelos realísticos en el diseño de pavimentos.

Experimentos masivos a gran escala, como BATES, WASHO y AASHO, definieron los caminos a seguir por muchos años resultando en mé-

todos usuales hasta la fecha. Sin embargo, esos métodos actuales de diseño no son considerados del todo adecuados. Son empíricos por naturaleza o no han sido implementados para usos generales. Debe reconocerse aquí la complejidad del sistema de pavimentos. Concientes de ello, la investigación ha seguido su formato dinámico hasta llegar a las computadoras.

La Ingeniería de sistemas está siendo aplicada a la solución de problemas e implementación de los actuales métodos de diseño y construcción. Los programas resultantes que han sido creados para estos fines permiten al ingeniero de diseño realizar un sistema de análisis detallado y preciso de la vida y comportamiento de un pavimento sobre cualquier período de diseño.

Obras de gran envergadura como carreteras y aeropuertos, no permiten reglas de dedo, recetas de proyectos tipos o soluciones al azar, dada la enorme inversión y beneficios que representan en todos conceptos. Si también se toma en cuenta la necesidad prioritaria de mantener y conservar la red carretera nacional existente con presupuestos limitados, la rehabilitación y conservación refuerzan la urgencia de "diseños efectivos". Las computadoras definitivamente son el presente, herramientas muy útiles para la correcta planeación, diseño y construcción de estas obras civiles.

Existen programas de computadora muy versátiles para pavimentos de caminos y aeropistas. Constantemente son experimentados y actualizados para cumplir con sus objetivos eficientemente. Los hay para sistemas múltiples de capas que sirven para estudiar con detalle esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles y rígidos. Estos programas permiten analizar cada capa componente de la estructura y también la consideración de cargas múltiples repetidas en el diseño. Predicciones de fatiga son analizadas con precisión.

El ingeniero de diseño debe tomar en cuenta los costos iniciales de construcción, de mantenimiento, intereses, amortización, etc. etc., para integrar un sistema de aproximadamente 50 variables básicas de entrada al programa. Entonces, con el auxilio de la computadora se obtendrán múltiples alternativas de diseño de entre las que se seleccionarán aquellas óptimas basadas en el costo mínimo.

No debe olvidarse la importancia del criterio y experiencia del ingeniero especialista al llevar a cabo los pasos previos al proceso de computación, contemplados en la "metodología mecánica" del sistema de pavimentos:

I) INVESTIGACION DE CAMPO

- pruebas no destructivas
- medición de deflexiones
- inventario de condiciones existentes
- muestreo de materiales

II) DETERMINACION EN LABORATORIO

- propiedades elásticas de mats. obtenidos

III) ANALISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL PAVIM. EXISTENTE

IV) EVALUACION DE LAS ESTRATEGIAS A SEGUIR PARA ALTERNATIVAS DE REHABILITACION Y REFUERZO.

Al finalizar este proceso, se estará en posibilidad de integrar valores adecuados para las múltiples variables que requiere la computadora para ejecutar el programa.

Antes de entrar al desarrollo general de los programas de computadora, su funcionamiento y puntos negativos, es conveniente mencionar una comparación subjetiva entre métodos de diseño empíricos y métodos de ingeniería de sistemas.

Me refiero a los métodos de diseño MS-11 y MS-11-A del Instituto del Asfalto de los EE.UU. El primero es un método empírico tradicional que no está del todo actualizado principalmente en cuanto a tipo y peso de aeronaves muy recientes (ej. Concorde). Por otro lado, está sujeto a errores de cálculo y apreciación por el número y complejidad de sus diagramas, sumado al tiempo excesivo de cálculo para obtener diseños.

El Instituto del Asfalto reconoció estas limitaciones y diseñó recientemente el programa de computadora MS-11-A para el diseño de pavimentos flexibles en aeropistas, que estando actualizado para todo tipo de aeronaves, cargas y operaciones, permiten al ingeniero obtener diferentes alternativas de diseño estructural, costos, rehabilitación programada, etc. en un tiempo mínimo de aprox. 30 segundos de ejecución del programa. Esto representa una ventaja adicional al poderse modificar valores numéricos y restrictivos para analizar diferentes condiciones de análisis y así obtener el diseño óptimo a un costo mínimo.

Ahora bien, debemos recordar que la computadora siendo una herramienta de mucha utilidad, a final de cuentas es una máquina compleja que estará sujeta al criterio y arbitrio del ingeniero diseñador por lo que se refiere a programación.

La programación requiere de reglas básicas a seguir y lenguajes sofisticados, por lo que el ingeniero debiera conocerlas para no cometer errores que por ejemplo, se lleven a un loop sin término, (infinito loop), ó la no ejecución del programa por usar valores fuera de límite, ó a consumir un tiempo excesivo en la ejecución del programa (p.e. 300 segundos). Es primordial la investigación cuidadosa de datos básicos para las variables de entrada al programa y el mantener actualizados los programas de computadora para diseño, conforme a la dinámica cambiante en la tecnología y conforme a las necesidades particula-

3 res de cada obra.

Usualmente los programas de computadora para el diseño de pavimentos son ejecutados con una rutina principal y 8 subrutinas que realizan 5 funciones básicas:

- 1.- Lectura de datos básicos de entrada
- 2.- Solución de valores admisibles (p.e. tránsito)
- 3.- Solución de valores predecibles
- 4.- Determinación de espesores de diseño (alternativas)
- 5.- Determinación de requisitos para refuerzo o rehabilitación.

Existe primeramente una "interacción" lógica de datos básicos de entrada:

- a) Variables de cargas
- b) Variables climatológicas
- c) Variables de caracterización materiales
- d) Variables de construcción
- e) Variables de diseño estructural
- f) Variables de mantenimiento, etc.

Estas variables y su interacción lógica serán procesadas a través de un modelo estructural del pavimento que considerará respuestas primarias (deflexiones, deformaciones, esfuerzos, deterioro, etc) y respues-

tas limitativas (ruptura, distorsión, desintegración, etc.)

Entre los procesos de respuestas primarias y limitativas, se analizan las propiedades de la sup. rodante a deslizamiento, rugosidad, tracción, etc. En el caso de aeropistas, a la altura de este nivel se procesan las variables restrictivas de ruido, polución y congestión.

Del modelo estructural básico o primario, se desprende otro submodelo que analiza criterios de decisión en base a la disponibilidad de fondos, seguridad de operación, confort, costos de mantenimiento y de usuarios, que serán evaluados y sopesados para cada alternativa y junto con el resultado del primer modelo mecánico, se integrará para nuevo análisis y selección de alternativas, cuya combinación y selección serán impresas finalmente para su revisión y decisión.

Como ejemplo de aplicación práctico, se menciona el programa de computadora LVR (Low Volume Roads) para diseño de caminos revestidos y pavimentados de bajo costo y bajo volumen, que en su última versión maneja eficientemente 50 variables, que al ser procesadas durante la ejecución del programa en aprox. 22 segundos, se obtienen 40 alternativas de diseño basadas en costo mínimo, incluyendo costos finales y periodicidad y tipo de rehabilitación o refuerzo para cumplir perfectamente con la vida útil de diseño especificada.

4 Existen a la fecha un gran número de programas de computadora disponibles para el ingeniero de diseño en pavimentos rígidos o flexibles, - para aeropuertos o caminos. Sin embargo, se tratarán aquí solo los más usuales y actualizados. Estos programas han sido experimentados con magníficos resultados en diferentes obras de gran envergadura como son los aeropuertos internacionales de O'Hare, en Chicago, USA, Dallas-Ft Worth, en Texas, Washington, D.C. y sistemas interestatales de los Estados Unidos y Brazil.

A continuación, se da un listado de programas disponibles y posteriormente se explica en términos generales sus aplicaciones y funcionamiento.

LISTADO DE PROGRAMAS DISPONIBLES

DENOMINACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION	DENOMINACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION
FPS-2	FLEXIBLE PAVEMENT SYSTEM	Diseñar sistemas de Pavimentos Flexibles	123 U.S. Dept. of Transp. CIHR, Univ. of Texas Austin Texas A M Univ. Texas Highway Depart.	PLOT-2	DEFLECTION PROFILE	Análisis, recolección e impresión del contorno de deflexiones medidas continuas. Registro de condiciones existentes sobre la superficie de rodamiento.	Federal Highway Procedure "Design Procedure"
LVR 1-11	LOW VOLUME ROADS	Diseño caminos revestidos y pavimentados flexibles para bajo volumen, de bajo costo.	60 U.S. Forest Service Dept. of Agriculture U. Texas at Austin C.A.T.S.	TVAL-2	STATISTICAL ANALYSIS	Análisis Estadístico de cualquier índole para estudio de datos iniciales, p.e. deflexiones medidas e inventario carreteras.	Statistical Analysis Design Sections, FHWA "Design Procedure"
MS-11-A	COMPUTER PROGRAM FOR ASPHALT PAVEMENTS FOR AIR CARRIER AIRPORTS	Diseño de pavimentos flexibles para aeropuertos	1973 The Asphalt Institute U.S.A.	RPOD-1	RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN	Diseño de refuerzos o sobrecarpetas para pavimentos rígidos.	77-66,67 FHWA, U.S.A
RPS-2	RIGID PAVEMENT SYSTEM 2	Diseño de pavimentos rígidos de concreto hidráulico	123-21, 1974 Texas Transportation Institute Texas A M Univ. Univ. of Texas at Austin Texas Highway Department	RPOD-2	RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN, UP-DATED	Diseño de refuerzos en pavimentos rígidos, considerando criterios por deflexiones, fatiga y grietas (predicción).	177-13 FHWA, U.S.A Center for Highway Research Texas Highway Dept
TMA	TRAFFIC MIX ANALYSIS	Predicción de tráfico aéreo para el diseño de aeropistas y cargas equivalentes.	The Asphalt Institute, U. S. A.	RFLCR-1	REFLECTION CRACKING PROGRAM	Procedimiento racional de evaluación grietas y grietas reflejadas en sobrecarpetas.	177-13-1 Center for Highway Research
MODIAS 1-10	MODULUS OF ELASTICITY	Caracterización de materiales, analizando propiedades elásticas.	Center for Highway Research. Council for Advanced Transportation Studies	SLAB-30	SLAB ANALYSIS	Programas de diseño y análisis, empleando teoría elástica para múltiples capas de pavimentos para carreteras y aeropistas. Criterios de falla, esfuerzos-deformación y predicciones son procesadas equf.	Transportation Facilities Branch Department of the Army, U.S.A.
CRCP-1 CRCP-2	CONTINUOUSLY REINFORCED CONCRETE PAVEMENT	Diseño de pavimentos rígidos de concreto reforzado o armado continuo sin juntas, para aeropistas y carreteras.	177.- Center for Highway Research Austin Research Engg. Texas Highway Dept. FHWA	SLAB-49	SLAB ANALYSIS		
				ELSYM-5	ELASTIC SYSTEM ANALYSIS LAYERED		Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of Calif U.S.A.
				SHELL BISTRO	MULTI LAYERED ELASTIC SYSTEM ANALYSIS MLESA		Shell Oil Company, U.S.A.

6.

PROGRAMAS DE AYO A LOS INTERIORES

Es importante hacer notar el tipo de computadora que puede ejecutar los programas a continuación enlistados; esto es,

DENOTACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION
ACAP-1 ACAP-2	Airport Capacity Analysis Airport Capacity Analysta	Analisis y Diseño Capacidad en base al tráfico aéreo de aero- puertos	University of Texas at Austin CFHR CATS
GDOPRO SIMPRO TEXAS MODEL	A Geometric Processor Simulator Process Texas Model	Tráfico y su análisis para intersecciones de carreteras y ur- banas.	Texas Highway Dept. P A A FHWA
* PDILD	Computer Program for Airport Pavement Design	Programa de computadora para calcular la resis- tencia de pavimentos de Aeropuertos	Portland Cement Assn. R.G. Packard, Illinois, U.S.A.
* ACN-PCN	Aircraft Class Number Pavement Class.	Programa iniciado por la Boeing y perfeccionado por Cuerpo de Ingenieros USA. Metodo CBR de calculo de pavimentos flexibles, Actualizado por Douglas para obtener ACN.	5-77-1 USARMS

CDC	6000
CDC	6400
CDC	6600
IBM	360
IBM	370
UNIVAC	1108
IBM	3031

— SAMP

Usualmente cada programa es diseñado en un específico lenguaje — (p.e. Fortran V) y para un tipo o modelo de computadora (p.e. CDC-6600). Por supuesto haciendo las modificaciones necesarias se puede convertir el sistema para procesarse en diferente computadora, — pero existe el inconveniente de incremento o reducción del tiempo — para ejecución del programa. Caso específico: el programa LVR-11 está diseñado para procesarse en computadora CDC-6600, que es — la más rápida a la fecha. Al ejecutarse los cambios a IBM-360, el mismo programa tarda de 4 a 5 veces más su tiempo de ejecución, — lo que deberá considerarse para fines de "costo/tiempo/ejecución".

(*) OACI Enmienda al ANEXO 14 del Método para Notificar la Resistencia de los pavimentos (1980).



TPS 2 FLEXIBLE PAVEMENT SYSTEM 2

El programa de computadora para sistemas de pavimentos flexibles - No. 2, auxilia a los ingenieros de diseño para entender los efectos de las diferentes variables que intervienen en el diseño de un pavimento del tipo flexible de una manera más eficiente.

Está basado en el criterio de diseño por deflexiones, las cuales son obtenidas en el campo a través de empleo de equipos de evaluación tales como Dynaflect y Viga Benkelman.

Los valores obtenidos de deflexiones en los diferentes tramos seleccionados junto con datos de tránsito para ejes equivalentes, factores de clima, resistencia de los materiales por emplear, etc. esto es, variables de diseño, de limitaciones, junto con variables de costos, totalizan 45 diferentes tipos de datos básicos de entrada para resolver el programa y obtener de una manera eficiente, rápida y precisa diferentes alternativas de diseño de la estructura total del pavimento flexible y sus costos respectivos.

Se obtienen además, dentro del período de diseño de vida útil del pavimento, el número y tiempo a efectuar de refuerzos necesarios para asegurar metas de duración de la estructura.

Listado:

Proyecto Investigación 1-8-69-173

1 9 7 2

U.S. DOT

Texas Highway Department

Texas A&M (TTI)

University of Texas at Austin

(CFRR)

LVR, LVR 11 LOW VOLUME ROADS

El diseño de pavimentos de bajo costo y para bajos volúmenes de tránsito es un procedimiento complejo que involucra numerosas variables. La complejidad de interacción entre ellas se ha ido solucionando gracias a mejores informaciones de campo y a programas de computadora tales como el "LVR" "Camino de bajo volumen".

Desde su creación en 1974 se ha ido mejorando y modificando, hasta llegar a la versión "LVR-11", de enero 1979, considerada como uno de los programas óptimos para diseño de carreteras económicas.

En términos generales, este programa de computadora puede ser utilizado para calcular los diseños más económicos y favorables para pavimentos con carpeta asfáltica.

Peró además, este programa está diseñado para resolver caminos revestidos con grava que cumplan con ciertos requerimientos especificados por el ingeniero diseñador. Como ejemplo de estos requisitos pudieramos mencionar la vida de diseño deseada, restricciones referentes a costo inicial de construcción, frecuencia de las rehabilitaciones, etc.

8

El costo total obtenido incluye los costos inicial, de rehabilitaciones mayores, riegos de sello para carpetas asfálticas, mantenimiento menor y costos por retraso para usuarios. Además el programa calculará el costo de operación de vehículos si así se especificare cuando se realiza la programación inicial.

El programa LVR-10 de computadora actualmente maneja 50 variables a la vez. Podemos mencionar algunas de las más importantes para este tipo de diseño de pavimentos: ejes equivalentes, valor relativo de soporte en la cimentación, factores regionales climáticos, espesores de sobrecarpeta supuestos, valor de recuperación de la inversión, tiempo entre rehabilitaciones, índice de servicio, interés, propiedades de materiales, etc.

Otra innovación importante del programa es el conocimiento del "ingreso de falla" que controla el diseño y su ejecución. En el LVR se analizan los modelos de AASHO, el de pérdida de agregados y el de deformación permanente bajo la rodada (rutting).

El tiempo de ejecución total del programa variará dependiendo los valores específicos asignados a variables, pero para dar una idea, varía de medio segundo a 30 segundos en condiciones normales, (contando al programa en CDC-6600).

Es importante hacer notar que dentro de los resultados obtenidos — cuando se usa este programa, se tienen 40 diferentes diseños óptimos para las condiciones especificadas desde el inicio, en orden progresivo, desde el "diseño óptimo estructural con el mínimo costo" hasta la alternativa 40, lo que permite al Ingeniero diseñador — elegir una o varias alternativas que sean totalmente compatibles a sus necesidades y presupuesto, que a final de cuentas regirá la — decisión final.

Listado =

Proyecto No. 60

U. S. Forest Service
 Depto. Agricultura
 Council for Advanced
 Transport Studies
 University of Texas at
 Austin.

MS - 11 - A ASPHALT PAVEMENTS FOR AIRPORTS

El programa de computadora MS-11-A es la última versión del Instituto del Asfalto Norteamericano para el diseño de pavimentos flexibles asfálticos para aeropuertos. La versión data de 1973 y sigue básicamente la secuencia de diseño y cálculo establecida para la versión — manual de cálculo dada en su publicación MS-11. Por supuesto modificada para proceso en computadora y actualizada para todos y cada uno de los nuevos tipos de aeronaves, incluyendo el "Concorde".

Si alguno de los presentes ha realizado el diseño manual usando — MS-11, se dará cuenta del tiempo e invertir y de las posibilidades — de error continuas. Por ello este programa de computadora es sumamente útil en cuanto a ahorro de tiempo invertido, variables de entrada de diseño totalmente revisadas y actualizadas y la variedad de resultados y alternativas obtenidas para el proyecto total de las pistas de aterrizaje, de taxi, cabeceras y plataformas.

Además proporciona el diseño de refuerzos o sobrecarpetas requeridas para alargar vida útil al pavimento.

El programa está hecho para lenguaje FORTRAN V en computadora tipo UNIVAC 1108 con un control EXEC 2 modificado de ejecución.

Con algunas modificaciones a seguir se puede operar el programa en computadoras IBM-360, 370 o CDC-6000 series.

Básicamente el programa sigue los pasos enumerados a continuación:

- 1 rutina principal
- 8 subrutinas que desarrollan 5 funciones:
 - a) leer datos de entrada
 - b) solucionar valores admisibles de tráfico
 - c) solucionar valores predichibles de tráfico
 - d) determinar espesores de diseño
 - e) determinar requisitos de sobrecarpeta o rehabilitación

Estado: MS-11-A 1973

Computer Program for Full-
Depth Asphalt Pavements for
Air Carrier Airports
The Asphalt Institute, U.S.A.

1.1)

RPS 2 FIGID PAVEMENT SYSTEM 2

El programa de computadora para sistemas de diseño de pavimentos rígidos RPS-2, es una versión moderna del FSP-2 que básicamente funciona de manera semejante, pero con variables adicionales y algunas restricciones diferentes para superficies de rodamiento hechas con cemento portland.

Este programa fue actualizado en 1974 conjuntamente por varios organismos de investigación (tales como U.T., Texas A M, CFHR) para el Departamento de Carreteras del Estado de Texas.

Este tipo de programa permite al ingeniero de diseño realizar un sistema de análisis de la vida y comportamiento del pavimento rígido sobre cualquier período de vida útil deseado.

Con el manejo de aproximadamente 50 variables y factores de entrada, el ingeniero puede seleccionar una solución óptima basada en el costo mínimo.

El programa contempla el diseño de pavimentos rígidos construídos con juntas transversales, y sin refuerzo.

El sistema empleado por este programa está basado en métodos empíricos del Cuerpo de Ingenieros para pavimentos de aeropistas, en especial cuando se analizan los refuerzos por sobrecarpetas.

Listado:

Reporte No. 133-21, Enero 1974

T T I

T A & M

U T

T H Department

11

T M A THE ASPHALT INSTITUTE COMPUTER PROGRAM
FOR TRAFFIC MIX ANALYSIS

Al mismo tiempo que se creó el programa MS-11-A para pavimentos de aeropuertos, fue desarrollado este programa de computadora para análisis de tráfico aéreo, el TMA, el cual predice las repeticiones de deformación equivalentes de una aeronave estandar, producidas por una mezcla de tránsito aéreo proyectada al futuro.

Específicamente determina las repeticiones de deformaciones sobre diferentes espesores de concreto asfáltico asumidos para cada modo de falla. Considera varias condiciones básicas tales como: peso total de la aeronave al despegar (es variable) y como aeronaves - prototipo al DC-8-63 F y B-727-200.

El número de operaciones en todos los sentidos de orientación para la pista de despegue y aterrizaje es uno de los factores básicos en el programa para determinar daños producto de la fatiga y para estimar periodos de refuerzo al pavimento.

Para realizar el diseño y análisis de las sobrecarpetas y rehabilitación de las pistas para el aeropuerto nacional de Washington, D.C. fué utilizado este programa de computadora por el Dr. Witczak, lo

13

C R C P - 1 CONTINUOUSLY REINFORCEDC R C P - 2 CONCRETE PAVEMENT

Dentro de los pavimentos existentes a la fecha, tanto para carreteras como para aeropistas, el pavimento de concreto reforzado sin juntas es considerado como el óptimo, el más caro inicialmente pero el — más barato y el mejor a largo plazo. Algunos técnicos lo llaman — "zero maintenance", o sea cero mantenimiento mayor a lo largo de — la vida útil del pavimento.

El programa de computadora CRCP-1 y el actualizado CRCP-2 diseñan este pavimento premium: — con base a variables de entrada tales como factores regionales de ambiente, temperaturas, tráfico, costos, resistencias de materiales, etc., el programa analiza diferentes alternativas estructurales y costos, resultando en las más idóneas.

En la versión actualizada CRCP-2, el programa de computadora analiza detalladamente el diseño de pavimentos reforzados de concreto continuos basados en contracciones de los materiales y caídas de la temperatura ambiental.

Ejemplo:

Pista de despegue y aterrizaje en el aeropuerto
Internacional de O'Hare, Chicago, U.S.A.

Listado:

CRCP - 1

CRCP - 2

Proyectos 3-8-75-177 CFHR

177-9

A R E

T H Dept.

FHWA

PLOT 2 DEFLECTION PROFILE PROGRAM

14

Para el correcto diseño de un pavimento o su rehabilitación, se requieren datos, pruebas, información y mediciones de campo que serán parámetros básicos.

Con tal información obtenida, el programa PLOT 2, calculará y dibujará el contorno o espectro de las deflexiones medidas, que junto con las observaciones en el campo de la condición existente del pavimento (sup. de rodamiento), permitirán conocer de antemano tres puntos fundamentales:

- 1) pavimento c /vida remanente potencial
- 2) pavimento severamente agrietado que no pueda tener vida remanente
- 3) pavimento que falle totalmente aún antes de reforzado.

Cuando se tienen evaluaciones por realizar en pavimentos de longitud considerable, este programa demuestra obviamente los beneficios al ahorrar muchísimo tiempo en el proceso de obtener el espectro total de las deflexiones obtenidas p.e. Dynaflect o Viga Benkelman.

Listado:

PLOT 2 Computer Program
of FHWA "Design Procedure"
DOT, U.S.A.

TVAL 2 STATISTICAL ANALYSIS PROGRAM

Junto con el programa PLOT 2 antes mencionado, el programa TVAL 2 constituye una herramienta valiosa para el diseño y evaluación de pavimentos.

Este programa analiza estadísticamente las secciones de diseño por evaluar. Determina estadísticamente si estas secciones seleccionadas, son diferentes significativamente entre sí.

También obtiene medias y desviaciones standard de la información de deflexiones de diseño características de los tramos, que serán representativas de toda la longitud de camino en estudio.

Este programa de computadores forma parte también del procedimiento general de diseños de la FHWA.

Listado: TVAL 2

Statistical Analysis of Design Sections
Computer Program of FHWA Design Procedure
DOT, U.S.A.

RPOD 1 RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN

El programa de computadora para diseño de sobrecarpetas en pavimentos rígidos fue desarrollado por ARE, Inc. para la Administración Federal de Carreteras de los EE.UU.

Este programa de computadora es básicamente un método de diseño para evaluar y diseñar los espesores requeridos de las sobrecarpetas en pavimentos rígidos, basado en valores estructurales del pavimento existente y su vida restante o remanente. La evaluación de las capas está basada en criterios de falla por fatiga.

El ingeniero diseñador deberá especificar módulos de elasticidad, espesores de capas existentes, relación o módulo de Poisson, deflexión característica permisible, tráfico, etc. El número de variables que intervienen varía pero no excede de 17. Como resultado, se obtendrá al final del proceso de computación, el espesor requerido de la sobrecarpeta o refuerzo para soportar el tráfico proyectado durante el período de vida útil por diseñar.

Listado: RPOD - 1
Rigid Pavement Overlay Design
Computer Program

Proyecto: FHWA-RD-77-66, 67

RPOD 2 RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN, UP-DATED

Después de experimentar con el programa RPOD-1 extensamente para la FHWA, el estado de Texas decidió implementar tal programa para hacerlo más compatible con su equipo y necesidades. El resultado fue la versión moderna RPOD-2, que fue modificado para incluir el diseño de sobrecarpetas asfálticas en pavimentos sin vida remanente. Además se añadieron valores límites para módulos elásticos en subbases clases 3 y 4 de pavimentos rígidos totalmente fallados y se consideran producto de carga producida con equipos Dynaflect.

Este programa de computadora analiza las grietas producto de fatiga, caracterizando el material de cimentación usando deflexión de diseño y datos de laboratorio.

En resumen, obtiene los espesores del refuerzo para la vida útil especificada empleando criterios de fatiga (miner's).

Listado: RPOD-2
FHWA CFHR
Report No. 177-13
Texas Highway Department

RFLCR - 1 REFLECTION CRACKING PROGRAM

16

El programa de computadora sobre grietas reflejadas está diseñado principalmente para proporcionar un procedimiento racional de evaluación de susceptibilidad a las grietas reflejadas en la sobrecarpeta.

Trabaja esencialmente en sobrecarpetas de concreto asfáltico para pavimentos rígidos, pero se adapta también para otros tipos de refuerzo. El proceso calcula deformaciones horizontales (térmicamente inducidas), esfuerzos de tensión, cargas verticales y deformaciones - producto de esfuerzos cortantes debido a deflexiones diferenciales - en discontinuidades del pavimento existente.

El método sugiere que las deformaciones calculadas sean comparadas con las máximas permitidas.

Información adicional básica es necesaria tal como:

- espaciamiento entre grietas
- espaciamiento entre juntas
- movimiento horizontal de la losa a diferentes temperaturas
- deflexiones diferenciales verticales

Junto con los programas de computadora PLOT-2, TVAL-2, RPOD 2,

el RFLCR-1, completa el procedimiento actual de diseño de pavimentos de la FHWA y ahora usado también por el SDHPT Texas.

Listado:

1978 Versión

CFHR

Report No. 177-13

PROGRAMAS VARIOS REFERENTES A DISEÑO DE PAVIMENTOS EM-
PLEANDO TEORIA ELASTICA LINEAL PARA MULTIPLES CAPAS.

Existen en la actualidad, diferentes y sumamente valiosos programas de computadora, como herramienta fundamental para el ingeniero de diseño, en donde se utilizan básicamente teorías elásticas para múltiples capas en diseño de pavimentos carreteros y aeroportuarios.

El criterio de falla, con diferentes hipótesis reconocidas, ha sido introducido en estos modelos o programas junto con teorías elásticas de esfuerzo - deformación y predicción de esfuerzos.

Programas como ELSYM-5, SLAB-30, SLAB-49 son muy útiles para diseños normales, pero tienen limitaciones en cuanto al número de capas componentes. En cambio, los programas CHEVRON y SHELL BISTRO pueden aceptar un número de capas componentes de la estructura total.

En el diseño de pistas del aeropuerto internacional de Dallas - Ft Worth, fueron empleados los programas de CHEVRON y SHELL BISTRO obteniéndose magníficos resultados.

17. Estado:

SLAB 30	Computer program	Transportation Facilities Branch,
SLAB 49	Computer program	Department of the Army U.S.A.
ELSYM-5	Computer program	Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California
SHELL BISTRO	Computer program	SHELL OIL Company, U.S.A.

* * *

/ RTG

PROB 14 SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVM, VALUES OF VARIABLES - ALL AVERAGES

THE CONSTRUCTION MATERIALS UNDER CONSIDERATION ARE

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	A TOP LAYER	35.00	.30	1.00	18.00	50.0	2.28
2	B SECOND LAYER	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	4.60
3	C THIRD LAYER	7.00	.10	3.00	15.00	50.0	4.60
	SUBGRADE	4.00	0.00	0.00	0.00	0.0	4.20

THIS IS AN ACP ROAD.

TOTAL NUMBER OF INPUT MATERIALS, EXCLUDING SUBGRADE	3
NO. OF LAYERS OF MATERIAL WHICH WAS PREVIOUSLY CONSTRUCTED	0
LENGTH OF THE ANALYSIS PERIOD (YEARS)	20.0
WIDTH OF EACH LANE (FEET)	12.0
ROAD WIDTH OF THE BASE (FEET)	20.0
SLOPE OF THE BASE IN RELATION TO T.V	2.0
INTEREST RATE OR TIME VALUE OF MONEY (PERCENT)	8.0
REGIONAL FACTOR	1.0
SERVICEABILITY INDEX OF THE INITIAL STRUCTURE	4.2
SERVICEABILITY INDEX P1 AFTER AN OVERLAY	4.2
MINIMUM SERVICEABILITY INDEX P2	2.0
SWELLING CLAY PARAMETERS -- P2 PRIME	1.50
01	1600
MAX FUNDS AVAILABLE FOR INITIAL DESIGN (DOLLARS PER MILE)	15000.00
MAXIMUM ALLOWED THICKNESS OF INITIAL CONSTRUCTION (INCHES)	25.0
MINIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	1.0
ACCUMULATED MAXIMUM DEPTH OF ALL OVERLAYS (INCHES)	12.0
MAXIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	4.0
C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE O.D. (MILES)	.50
C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE N.O.D. (MILES)	.50
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.D. (PERCENT)	5.0
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN N.O.D. (PERCENT)	5.0
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.D. (HOURS)	.100
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN N.O.D. (HOURS)	.100
AVERAGE APPROACH SPEED TO THE OVERLAY ZONE (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN O.D. (MPH)	20.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN N.O.D. (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED OF THE GRADER OR S.C. TRUCK (MPH)	10.0
TRAFFIC MODEL USED IN THE ANALYSIS	2
NUMBER OF LANES OF THE ROAD	2
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS (DOLLARS/MILE)	.30
OPERATING COST FOR TRUCKS (DOLLARS/MILE)	1.50
TIME BETWEEN SEAL COAT (YEARS)	5.0
VALUES FOR THE MINIMUM TIME BETWEEN REHABILITATIONS (YEARS)	
2.0	

14 SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES - ALL AVERAGES

FOR THE 1 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	TOP LAYER	35.48	.30	1.70	10.00	54.0	4.29
	SUBGRADE	8.28	0.48	0.00	0.00	0.0	4.00

1 THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--

FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 7.75 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.25 YEARS

THE OVERLAY SCHEDULE IS

2.00 INCHES) (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.25 YEARS.

TOTAL LIFE = 23.98 YEARS

SEAL COAT SCHEDULE

(1) 5.25 YEARS

(2) 12.25 YEARS

(3) 17.25 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER 50 YD.	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	7.535	126084.69
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.321	4201.44
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1.135	15074.67
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	.081	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	.000	.75
TOTAL SEAL COAT COST	.200	4005.74
SALVAGE VALUE	-0.913	-12849.45
TOTAL OVERALL COST	8.343	117074.65
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	16.493	116109.61
OPERATING COST FOR TRUCKS	16.493	116109.61

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 16

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROJ 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

FOR THE 2 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	A TOP LAYER	35.00	.33	1.00	12.00	50.0	2.70
2	B SECOND LAYER SUBGRADE	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	8.00
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	4.00

2 THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--
FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

- TOP LAYER 4.00 INCHES
- SECOND LAYER 7.50 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.25 YEARS
THE OVERLAY SCHEDULE IS

2.00 INCHES (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.25 YEARS.
TOTAL LIFE = 23.94 YEARS

SEAL COAT SCHEDULE

- (1) 5.00 YEARS
- (2) 12.25 YEARS
- (3) 17.25 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER SQ. YD.	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	6,727	94722.22
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.301	4201.04
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1,135	15978.67
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	.001	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	.800	.75
TOTAL SEAL COAT COST	.204	4885.70
SALVAGE VALUE	-1,026	-11629.30
TOTAL OVERALL COST	7,623	107327.34
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	10,493	116109.41
OPERATING COST FOR TRUCKS	10,493	116109.41

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 280

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

FOR THE 3 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	A TOP LAYER	35.00	.30	1.00	10.00	50.0	8.00
2	B SECOND LAYER	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	8.00
3	C THIRD LAYER	7.00	.10	3.00	15.00	50.0	8.00
	SURFGRD	4.24	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00

3) THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--
FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 4.00 INCHES
SECOND LAYER 3.75 INCHES
THIRD LAYER 5.50 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.03 YEARS
THE OVERLAY SCHEDULE IS

2.00 INCHES (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.03 YEARS.
TOTAL LIFE = 21.06 YEARS

SEAL COAT SCHEDULE

(1) 5.04 YEARS
(2) 12.03 YEARS
(3) 17.03 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER SQ. YD.	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	6,559	92348.66
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.301	4241.48
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1.135	15974.67
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	.001	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	.002	.75
TOTAL SEAL COAT COST	.207	2839.89
SALVAGE VALUE	-0.800	-11370.65
TOTAL OVERALL COST	7.074	105238.10
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	16.493	116129.61
OPERATING COST FOR TRUCKS	16.493	116109.81

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET.-- 503

BY THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING
BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

A SUMMARY OF THE BEST DESIGN FOR EACH COMBINATION
OF MATERIALS, IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 12.0 FT.

DESIGN NUMBER	TOTAL COST
3	105238.10
2	107327.30
1	117470.05

ALL MATERIAL COMBINATIONS HAVE AT LEAST ONE FEASIBLE DESIGN.

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES • ALL AVERAGES

SUMMARY OF THE BEST DESIGN STRATEGIES
IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 12.0 FT.

	1	2	3	4	5
MATERIAL ARRANGEMENT	4AC	4BC	4BC	4BC	4BC
INIT. CONST. COST	92345.	92335.	93149.	93146.	93173.
OVERLAY CONST. COST	15975.	15975.	15975.	15975.	15975.
DELAY COST OVERLAY	12.	12.	12.	12.	12.
DELAY COST SEAL COAT	1.	1.	1.	1.	1.
SEAL COAT COST	4039.	4068.	4031.	4031.	4031.
ROUTINE MAINT. COST	4201.	4241.	4241.	4241.	4241.
SALVAGE VALUE	-11375.	-11374.	-11457.	-11401.	-11463.
TOTAL COST	145238.	145259.	145912.	145944.	145969.
NON-TRUCK OPER. COST	116149.	116149.	116149.	116149.	116149.
TRUCK OPERATING COST	116149.	116149.	116149.	116149.	116149.
NUMBER OF LAYERS	3	3	3	3	3
LAYER DEPTH (INCHES)					
O(1)	4.20	4.20	3.75	3.75	3.75
O(2)	3.75	4.50	4.40	5.25	4.50
O(3)	5.50	4.25	3.10	4.25	5.50
NO. OF PERF. PERIODS	2	2	2	2	2
PERF. TIME (YEARS)					
T(1)	7.4	8.8	7.1	7.1	7.1
T(2)	21.4	28.1	23.2	24.2	25.3
OVERLAY STRAT. (INCHES) (INCLUDING LEVEL-UP)					
O(1)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
NUMBER OF SEAL COATS	3	3	3	3	3
SEAL COAT SCHEDULE (YEARS)					
SC(1)	5.0	5.0	5.2	5.0	5.0
SC(2)	12.0	11.0	12.1	12.1	12.1
SC(3)	17.0	16.8	17.1	17.1	17.1

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVH, VALUES OF VARIABLES * ALL AVERAGES

SUMMARY OF THE BEST DESIGN STRATEGIES
 (IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST,
 (DOLLARS PER TILE)

LINE WIDTH = 12.0 FT.

	36	37	38	39	40
MATERIAL ARRANGEMENT	48	48C	48C	49C	48C
INIT. CONST. COST	95098.	99189.	99159.	99170.	98398.
OVERLAY CONST. COST	15975.	13696.	13696.	13696.	13696.
DELAY COST OVERLAY	12.	10.	10.	10.	10.
DELAY COST SEAL COAT	1.	1.	1.	1.	1.
SEAL COAT COST	4931.	3429.	3361.	3036.	3793.
ROUTINE MAINT. COST	4241.	4241.	4241.	4241.	4241.
SALVAGE VALUE	-11713.	-12149.	-12148.	-12148.	-12029.
TOTAL COST	108385.	108058.	108062.	108266.	108145.
NON-TRUCK OPER. COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
TRUCK OPERATING COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
NUMBER OF LAYERS	2	3	3	3	3
LAYER DEPTH (INCHES)					
D(1)	3.75	4.50	4.50	4.50	4.75
D(2)	6.25	3.75	5.25	4.50	3.00
D(3)		5.50	3.00	4.25	5.50
NO. OF PERF. PERIODS	2	2	2	2	2
PERF. TIME (YEARS)					
T(1)	7.1	9.8	9.8	9.2	4.8
T(2)	25.0	25.0	25.0	25.2	25.2
OVERLAY STRAT. (INCHES) (INCLUDING LEVEL-UP)					
O(1)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
NUMBER OF SEAL COATS	3	2	2	2	3
SEAL COAT SCHEDULE (YEARS)					
SC(1)	5.0	5.0	5.0	5.2	5.0
SC(2)	12.1	14.0	14.0	14.2	13.8
SC(3)	17.1				16.6

THE TOTAL NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS CONSIDERED WAS 695

PROLOGIA SENSITIVITY ANALYSIS FOR AGGREGATE SURFACED ROADS AVERAGE LEVEL

SUMMARY OF THE BEST DESIGN STRATEGIES
IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 14.0 FT.

	1	2	3	4	5
MATERIAL ARRANGEMENT	AB	A	AB	A	AB
INIT. CONST. COST	76310.	76690.	82790.	83800.	89347.
AGGREGATE ADD. COST	49920.	52000.	44012.	47703.	42150.
DELAY COST AGG. ADD.	127.	133.	113.	121.	197.
DELAY COST GRADING	50.	49.	50.	50.	50.
GRADING COST	7840.	7670.	7770.	7815.	7700.
ROUTINE MAINT. COST	2121.	2121.	2121.	2121.	2121.
SALVAGE VALUE	-12973.	-14140.	-12250.	-12900.	-12082.
TOTAL COST	123399.	125127.	125217.	127915.	124462.
NON-TRUCK OPER. COST	116100.	116100.	116100.	116100.	116100.
TRUCK OPERATING COST	116100.	116100.	116100.	116100.	116100.
NUMBER OF LAYERS	2	1	2	1	2
LAYER DEPTH (INCHES)					
O(1)	8.00	13.00	9.00	10.00	12.00
O(2)	8.00		8.00		8.00
NO. OF PERF. PERIODS	6	7	6	6	6
PERF. TIME (YEARS)					
T(1)	2.0	2.0	2.7	2.5	3.4
T(2)	4.9	4.0	6.7	5.5	6.0
T(3)	8.1	7.7	10.2	8.0	11.1
T(4)	11.3	11.8	13.5	12.1	14.0
T(5)	15.5	15.3	16.9	14.3	17.9
T(6)	20.0	18.7	25.0	25.0	25.0
T(7)		25.0			
AGGREGATE ADD. STRAT. (INCHES)					
AA(1)	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0
AA(2)	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0
AA(3)	3.0	4.0	3.0	3.0	3.0
AA(4)	4.0	3.0	3.0	4.0	3.0
AA(5)	4.0	3.0	3.0	4.0	3.0
AA(6)		3.0			
NUMBER OF GRADINGS	77	76	77	77	77
A GRADING IS TO BE DONE EVERY .3 YEARS					

VARIABLE NAME IDM VALUE	REGIONAL FACTOR			SWELLING CLAY P.			PSI			SLOPE OF THE BASE			OWIN			REAL COST COST			up to 49 VARIABLES			
	L	A	H	L	A	H	L	A	H	L	A	H	L	A	H	L	A	H				
AVERAGE	△			△			△			△			△			△			△			1
		△		△			△			△			△			△			△			2
		△	△				△			△			△			△			△			n
		△			△		△			△			△			△			△			n
LOW		△		△			△			△			△			△			△			1
			△	△			△			△			△			△			△			2
	△			△			△			△			△			△			△			n
	△				△		△			△			△			△			△			n
HIGH	△				△			△			△			△			△		△			1
		△			△			△			△			△			△		△			2
			△	△				△			△			△			△		△			n
			△	△				△			△			△			△		△			n
																		RUNS				
																		up to 340				

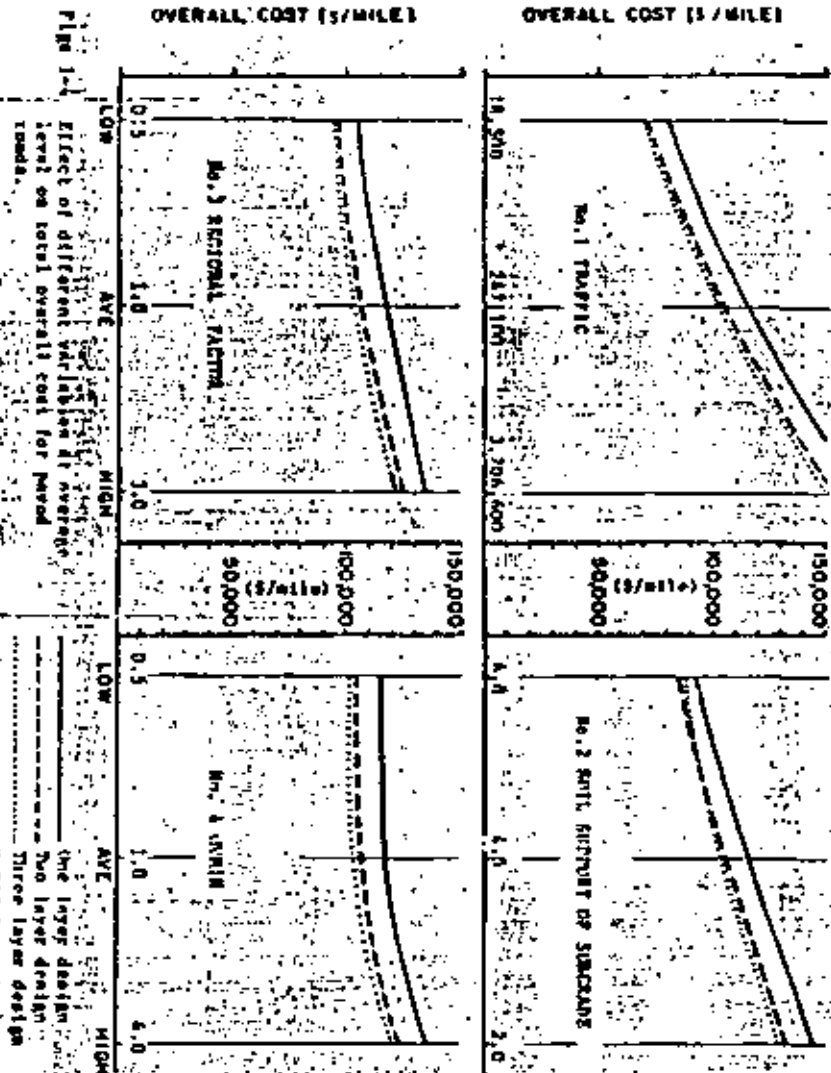
TABLE 1. LIST OF VARIABLES AND RANGES

Variable Name	Low	Average	High
<u>Miscellaneous Inputs</u>			
Total number of materials available without subgrade	3	3	3
Total number of materials available without subgrade	1	2	2
Width of each lane (feet)	12	12	12
Width of each lane (feet)	14	14	14
Number of lanes	2	2	2
Interest rate	12	8	6
<u>Performance Variables</u>			
Regional factor	0.5	1.0	3.0
Initial serviceability index (P1)	4.5	4.2	3.0
Serviceability index after an overlay (P1)	4.5	4.2	3.0
Terminal serviceability index (P2)	1.5	2.0	2.5
Non-traffic deterioration parameter (P3)	3.0	1.8	0
Swelling clay parameter (S ₁)	0	0.08	0.12
Surface material less than 3/4" (X)	70	85	95

(Continued)

TABLE 2. PAVED ROADS. AVERAGE LEVEL, RANKING, EXECUTION TIME, AND RESULTS OF VARIABLES GIVING THE MOST SIGNIFICANT EFFECT ON COST.

Sensitivity Analysis	Condition: Average		Type: Paved Roads		Ranking of Variable
	Computer Execution Time Low & High (Secs)	Results Overall Cost (\$ per Mile)	Difference (\$ per Mile)		
All Variables Fixed at Average Level	25.9	117,474.85	1 Layer Design		
		107,327.34	2 Layer Design		
		105,128.18	3 Layer Design		
Traffic	26.7	216.3	R 62,266.71	89,232.49	
ADT Long Trucks			H 170,499.20		
ADT Non-Long Trucks			L 72,764.09	83,307.39	1
Over 7.15 kip ESAL			L 73,090.76	79,497.20	
			H 152,567.96		
Soil Support Subgrade	29.6	117.0	R 91,043.78	53,588.34	
			H 146,631.64		
			L 87,434.17	45,702.98	2
			H 133,137.15		
			L 88,948.36	42,871.85	
			H 131,822.21		
Regional Factor	22.0	64.7	L 105,359.64	30,751.23	
			H 134,110.89		
			L 96,979.94	28,384.67	3
			H 125,364.56		
			L 93,349.87	28,449.30	
			H 123,819.17		



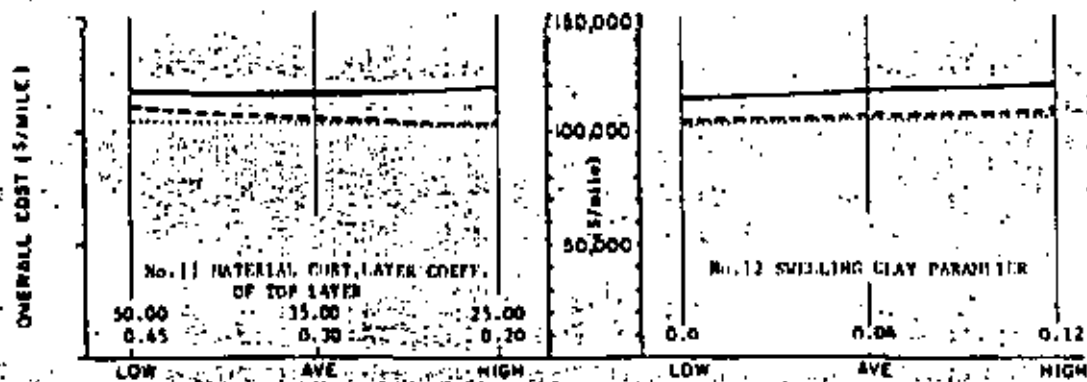
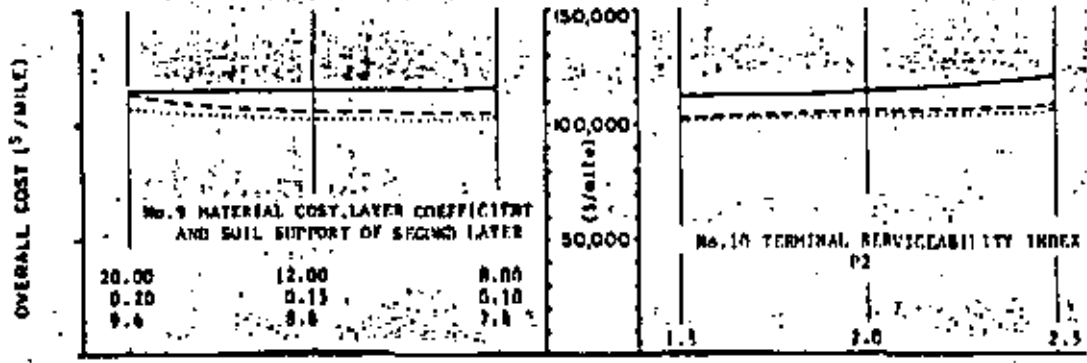


Fig 9-12 Effect of different variables at average level on total overall cost for paved roads.

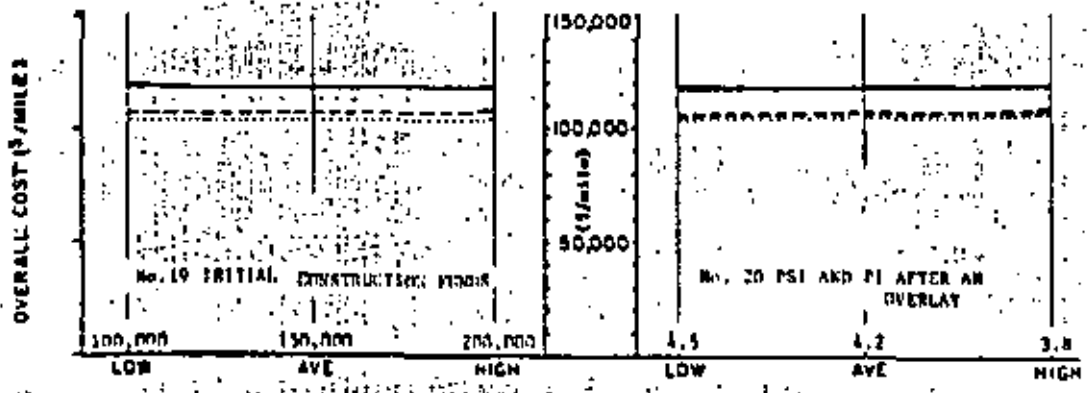
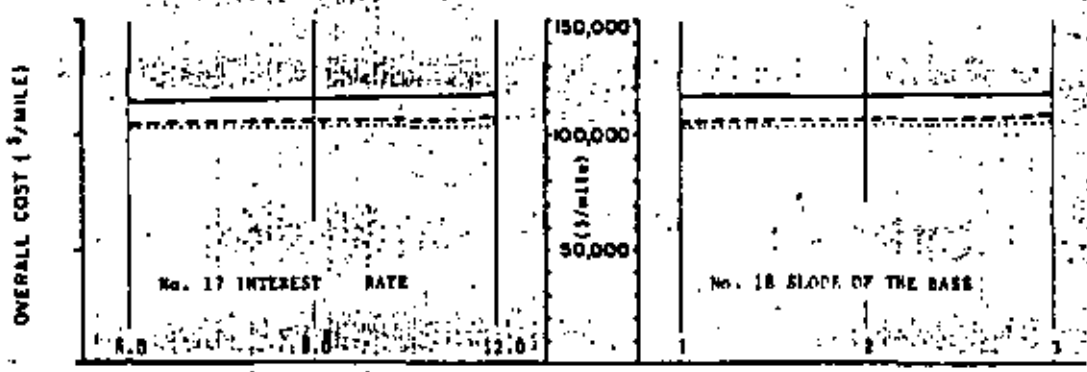
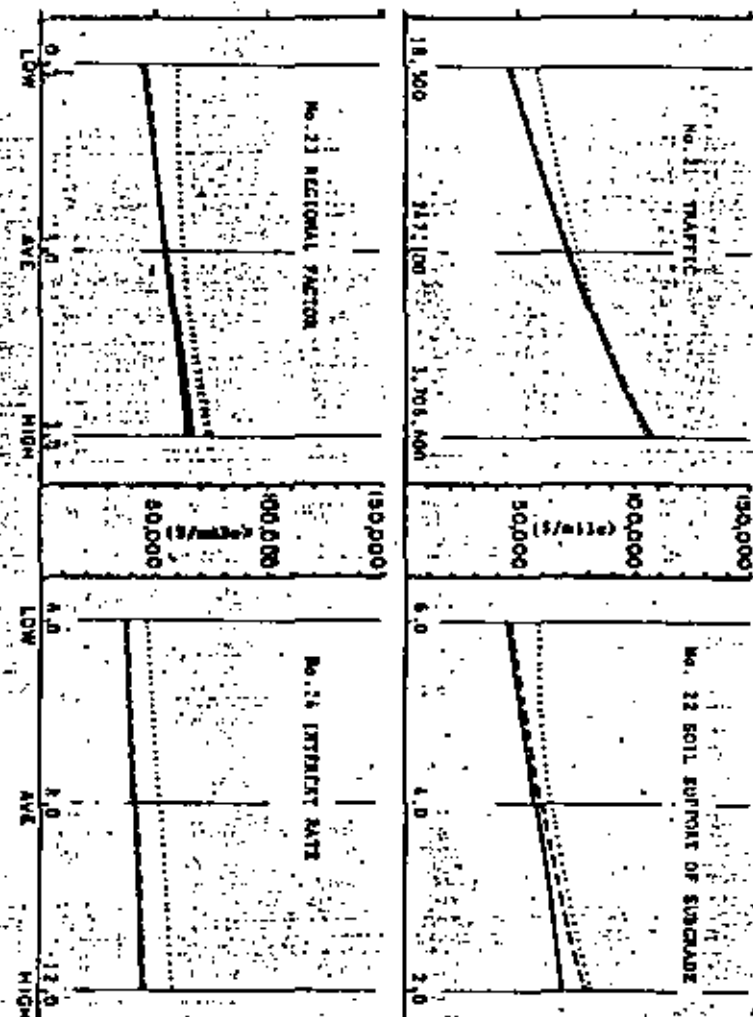


Fig 17-20 Effect of different variables at average level on total overall cost for paved roads.

TABLE 3. PAVED ROADS. LOW LEVEL. RANKING, EXECUTION TIME, AND RESULTS OF VARIABLES HAVING THE LARGEST EFFECT ON COST.

Sensitivity Analysis	Condition: Low		Type: Paved Roads		Ranking of Variables
	Computer Execution Time Low & High (Secs)	Results Overall Cost (\$ per Mile)	Difference (\$ per Mile)		
All Variables fixed at Low Level	3.7	A 46,446.93	1 Layer Design	Note: Diff. is calculated Low vs. High flow	
		H 48,802.23	2 Layer Design		
		A 58,633.83	3 Layer Design		
Traffic	4.3	4.4	A 73,871.64	63,277.05	1
		H 109,743.98			
		A 72,372.38			
		H 108,144.19			
		A 76,770.30			
		H 107,264.77			
Soil Support of Subgrade	3.9	4.5	A 58,633.83	25,737.57	2
		H 72,704.50			
		A 62,381.10			
		H 81,360.44			
		A 63,980.88			
		H 83,486.59			
Regional Factor	3.9	4.5	A 54,912.65	18,136.48	3
		H 44,603.41			
		A 53,976.50			
		H 83,914.60			
		A 63,167.93			
		H 72,236.18			

FIGURE 3-25. Effect of different variations at low levels on total overall cost for paved roads.



FOREST SERVICE
PROJECT

RESULTS

TYPE :	LEVEL :	# VARIABLES :	EFFECT :
PAVED	AVE	20/49	SIGNIFICANT
		15/20	LARGEST S.E.
		88,000 → 3400 DIFF	
		22 → 33	SMALL
		34 → 49	NO EFFECT
PAVED	LOW	14/49	SIGNIFICANT
		7/14	LARGEST S.E.
		63,000 → 3,600	
		15 → 49	NO EFFECT
PAVED	HIGH	SEE CONCLUSIONS & OBSERV.	
AGG. SURFACED ROADS	AVE	24/47	SIGNIFICANT
		16/24	LARGEST S.E.
		> 66,000 → 3,800	
		25 → 32	SMALL
		33 → 47	NO EFFECT

Based on the overall results obtained from performed sensitivity analysis on asphalt concrete paved roads and aggregate surfaced roads, the following conclusions and recommendations are given.

Asphalt Concrete Paved Roads

1. - When dealing with the asphalt paved roads design, the user should spend more time and attention to the following variables, which had demonstrated to have the most significant effects:

Variable	Ranking
Traffic variables	1
Soil support of the subgrade	2
Regional factor	3
Min. thickness of an individual rehabilitation	4
Salvage value of different layers	5, 8, 14
Annual routine maintenance cost	6
Time between seal coats	7
Material cost, layer coefficients and soil support values of top layer	11
second layer	9
third layer	14
Terminal serviceability index P2	10
Swelling clay parameter	12
Non-deterioration parameter P2P	13

	ranking
Seal cost cost	15
Interest rate	17
Slope of the base	18
Initial funds for construction	19
PSI and SI after an overlay	20

It is advisable also, to give additional attention to variables having a rank of 1,2,3,4,7,11,12,13 and 16 due to the large effect on computer execution time.

Based on the previously mentioned results, it would be recommended to fix at a mean value the variables having only a small effect on the final answer (rest of variables with a rank bigger than 20).

2.- When the analysis was performed for low level, (solutions run at average and high values, rest fixed at low), it was found a number of 7 variables having the most significant effect, but they are basically the same as variables found for average level, with only a small difference in the ranking weight. Computer execution time did not show any effect.

3.- From obtained results when high level was performed, there are not specific conclusions, except those observations listed on respective analysis.

Aggregate Surfaced Roads.-

1.- The following variables listing had demonstrated to have the most significant effect on the total overall cost, so it is necessary to spend special attention to them.

	ranking
Traffic variables	1
Material costs, layer coefficients and soil support of top layer and second layer	2,9
Aggregate surface loss	3
Soil support value of subgrade	4
Savings value of top layer	5
Min. thickness of an individual rehabilitation	6
Grading cost	7
Regional factor	8
Swelling clay parameters	10
Interest rate	11
Minimum length of performance period (X110)	12
Slope of the base	13
Accum. minimum thickness of all rehabilitation	14
Time between gradings	15
Annual routine maintenance cost	16
Terminal serviceability index T1	17
AAS	18
PSI and SI after an overlay	19
Non-deterioration parameter (F2)	20
ASD	21
PROP	22
ASCR	23
ILBO	24

As can be observed, these variables are basically the same as those used

In paved roads with significant effects, but there are some additional ones, which are involved for aggregate roads only, such as aggregate surface loss, grading cost, time between gradings and min length of performance period.

It is recommended also, to give additional attention to variables having a rank of 1,2,3,4,8,9,10,12,14,15 due to the largest effect on execution time, especially when dealing with @MIN and @MAX.

Based on previously mentioned results, it could be advisable to fix at a "mean" value, the variables having only a small effect on the final answer (rest of variables with rank higher than 14)

17) NOTICING PROBLEM VARIABLES.

One of the important objectives of this study, is to find and to notice problem variables in order to prevent to the user and/or designer with it.

It is recognized that through the whole sensitivity analysis, there are several too restrictive variables for the specified construction conditions. In other cases, there were too binding conditions, in order to get a pavement structure that could meet requirements.

The most significant variables, having the largest effect on total overall cost, were always associated with some kind of problem. As a matter of fact, the minimum thickness of an individual subdrainage had big problems with execution time and it had also one of the most significant effects for aggregate roads costs.

It is very important to handle values for this variable because of the large effect itself on cost (\$9,000 dollars per mile difference when varying only from 2 to 4 inches). On the other hand, it was printed a warning message on the original User's Manual version, recommending a minimum difference of 7 inches (aggregate roads) between @MIN and @MAX.

Looking results from the sensitivity analysis performed for aggregate roads, average level, it was demonstrated the excessive increment on computer time (3 min. when no difference, 22 when one inch difference and 211 when two inches difference) when @MIN and @MAX are applied. So it could be highly recommended to pay a lot of attention when dealing with these values and variables, due to the mentioned reasons.

Traffic conditions were also variables with problem. First of all, these variables (grouped together design period, ADT logging and no logging trucks and 18 KIP ESABL) was always, for every analyzed condition or level, the number one ranking. This means, it had the most significant effect among all variables.

When dealing with these characteristics, the designer has to be aware due to the significant effect on cost (\$6,000 dollars per mile difference when varying from low to high values). So traffic has to be always analyzed in detail.

Traffic was also responsible some times in obtaining no feasible designs for aggregate surfaced roads due to be a too restrictive condition when high values was used for computer time when executing the program. Traffic also had large effects as demonstrated for paved roads (differences from 27 to 114 secs.). So, for sure it has to be paid careful attention here.

Soil support values of the subgrade, regional factor, materials cost, layer coefficients, soil support of layers, swelling clay parameters, aggregate surface loss are also variables having large effect on costs and large differences on execution, so it is advisable to spend more time to them when using and designing with LUK program.

There is an additional variable having problems when dealing with; the KITO, minimum length of performance period. At some stage of the analysis, there was a problem with this variable because of the interaction with the swelling clay parameter. It was found that KITO becomes critical when using a high value for swelling clay (i.e. 0.12) (demonstrated graphically and solving by hand the AASHTO performance basic equation). Also the higher the length of period, the

larger the problem.

Based on that process, it was intended to reduce gradually KITO. Results, the smaller the period, the larger the execution time. But, as warning, when KITO is reduced to zero, the computer will stay in " infinite loop ".

It is going to be printed a warning message in the User's Manual new version establishing a new default value for this variable : KITO, 0.1 year.

It is recognized also that there are several too restrictive values in some variables for the specified construction conditions, therefore the User has to spend more time when characterizing them.

Problem Variables listing summary:

- 1.-Minimum thickness of an individual rehabilitation (OMIN)
- 2.-Maximum thickness of an individual rehabilitation (OMAX)
- 3.-Traffic variables
- 4.-Min. length of performance periods (KITO)
- 5.-Swelling clay parameter (h_1)
- 6.-Regional factor
- 7.-Materials cost
- 8.-Layer coefficients
- 9.-Soil support values (specially for subgrade)
- 10.-Aggregate surface loss
- 11.-Time between gradings or seal coats



**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

ENERO , 1983

desea considerar porque ellos pueden afectar directamente las consecuencias de los actos inmediatos, y

3. Todos los eventos inciertos que el decisor desea considerar porque pueden proporcionar información que puede afectar su selección futura entre actos y por consiguiente afectar las consecuencias de los actos inmediatos de manera indirecta.

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 y 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.

1. CONCEPTOS GENERALES

La etapa inicial en la formulación consiste en la descripción por escrito del problema, la que se presentará al decisor para ver si él está de acuerdo en que efectivamente se trata de su problema o modificarla hasta conseguirlo. De esta manera se evita que el analista esté trabajando en un problema que al final resulta no ser el que interesaba.

Esta descripción deberá tener la "fecha de evaluación" más allá de la cual no vale la pena tomar en consideración ningún acto o evento, el o los objetivos y sus criterios de evaluación, y un diagrama de decisión.

Un criterio de evaluación es la definición de un indicador que permitirá medir el logro de un objetivo.

El diagrama de decisión deberá mostrar:

1. Todos los actos inmediatos entre los que el decisor desea seleccionar;
2. Todos los actos y eventos inciertos futuros que el decisor

2. EJEMPLOS

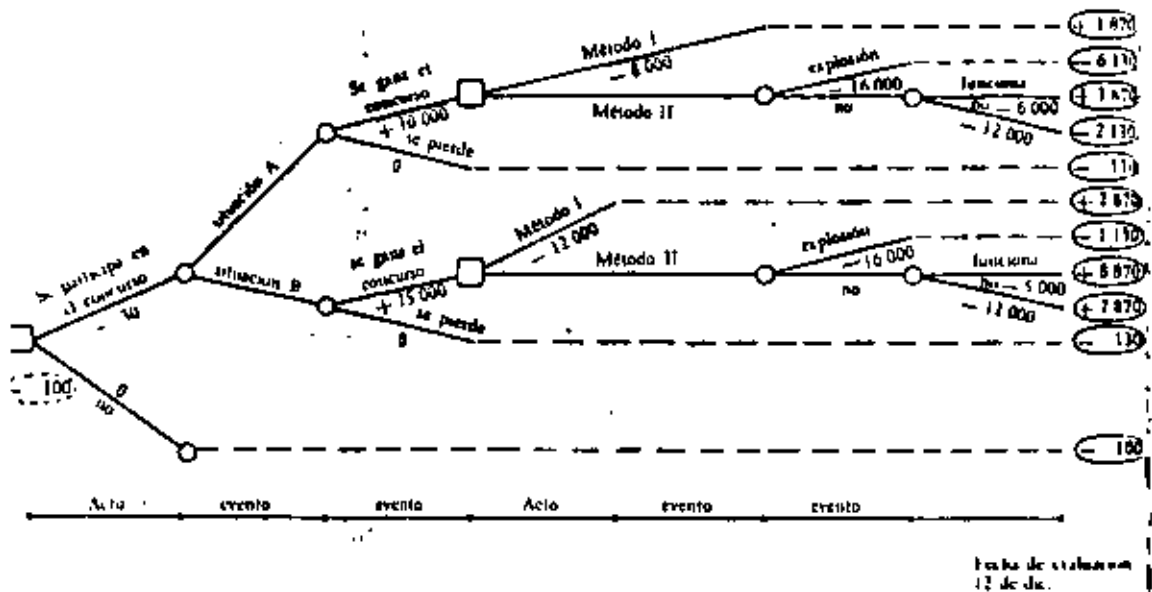
Problema de inundación y deslizamiento de tierra

En el municipio de Villa II. 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.

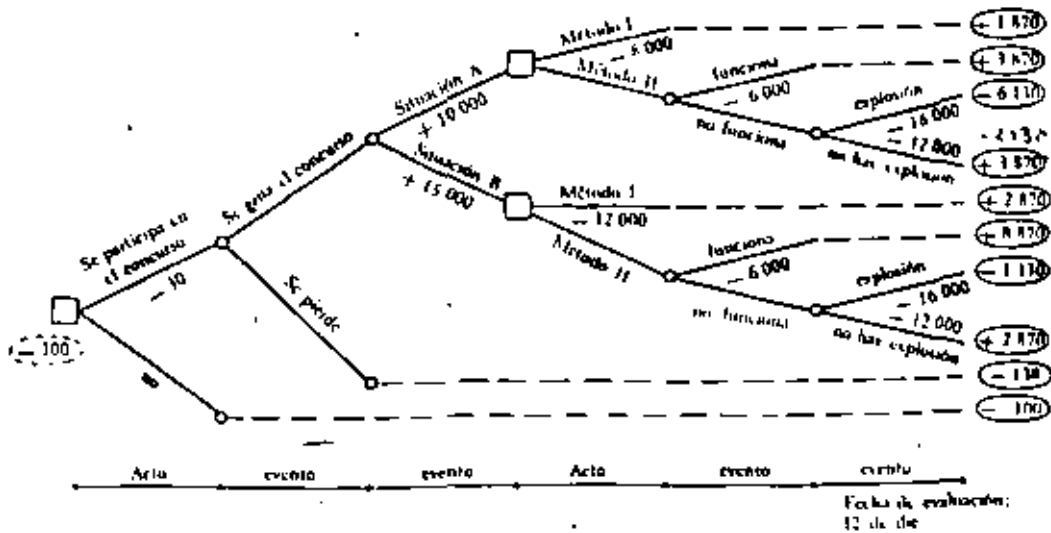
Problema de participación en un concurso

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.

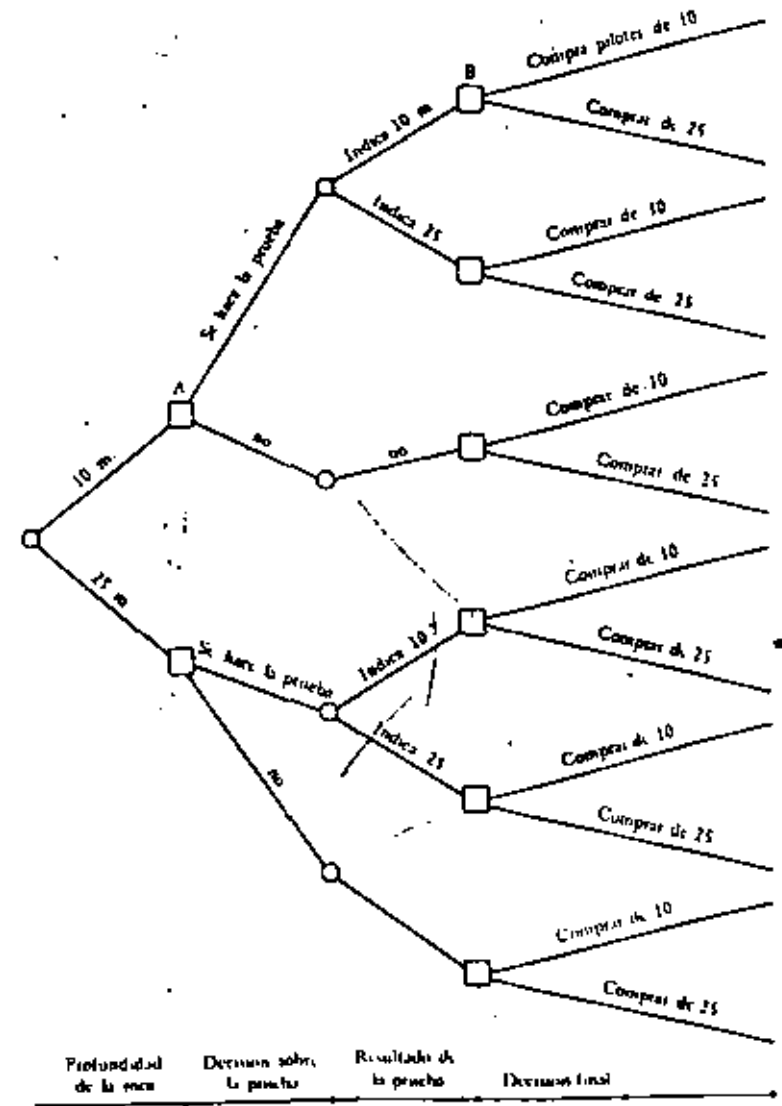
Problema de la longitud de pilotes

El gerente de la Cia. 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.

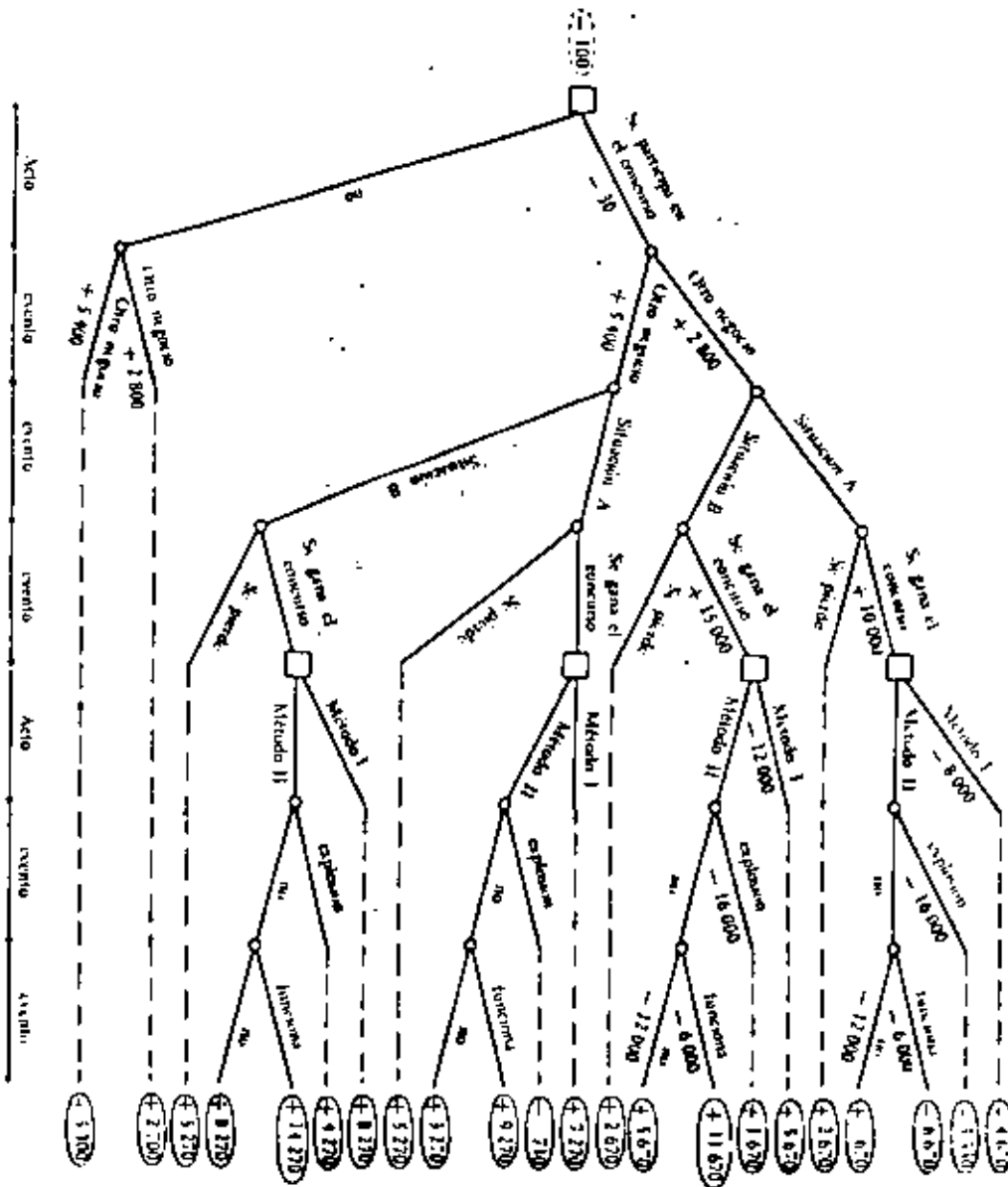
En vez de decidir inmediatamente él puede sujetar el terreno a una prueba que le dará una indicación de la profundidad, aunque esta indicación no puede aceptarse con seguridad absoluta.

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:



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



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.

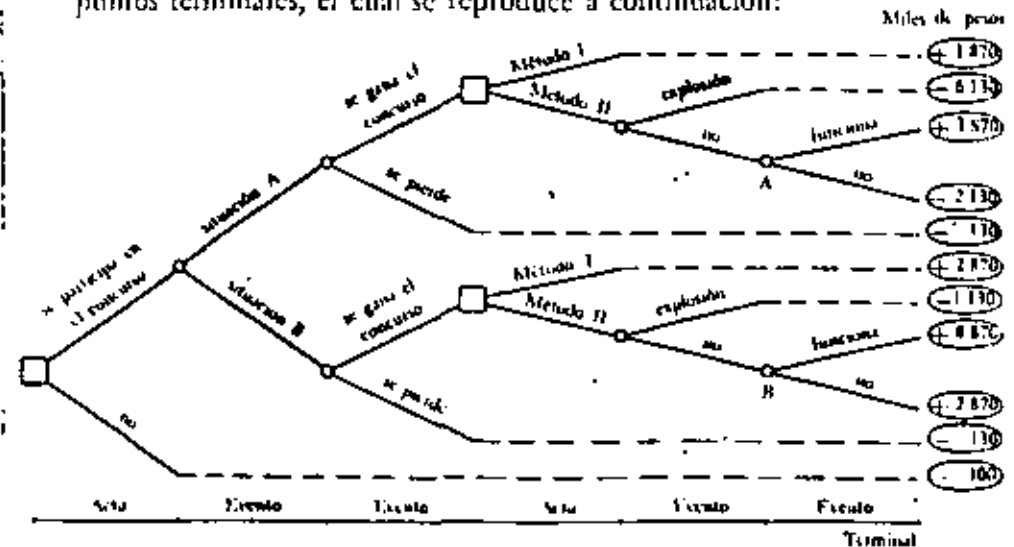
3. FLUJO CONTEXTUAL

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. Lete 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.

tal líquido neto y se obtuvo el diagrama de decisión evaluado en sus puntos terminales, el cual se reproduce a continuación:



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.

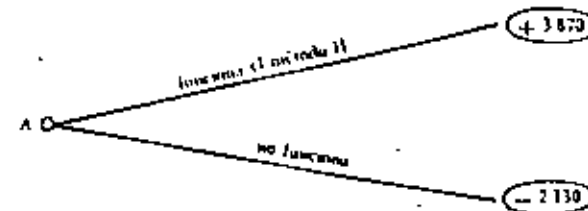
Los pasos para analizar un problema son:

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-

2. EQUIVALENTE BAJO CERTEZA Y DESCOMPOSICION DEL PROBLEMA

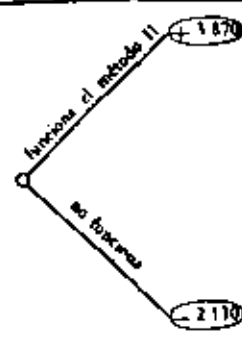
Considérese el punto A en el diagrama



en este punto el decisor debe considerar cuál es la posibilidad que funcione bien el método II y qué representa para él terminar el 12 de diciembre con un capital líquido neto de +3870 o de -2130 miles de pesos. Quizá esta última cantidad representa que él estará en quiebra. Es evidente que aquí se tiene incertidumbre.

En estas condiciones si alguien le ofreciera +3870 o más con certeza a cambio de la situación en A, él aceptaría con gusto. Y si alguien le pidiera 2130 o más con certeza (cantidad que es igual o menor que -2130) para que no tuviera que continuar

con esa situación, él se negaría rotundamente y continuaría con el punto A. Posiblemente ocurriría lo que se muestra en la tabla siguiente.

Lotería A	Le ofrecen bajo certeza	el decisor prefiere
	+ 3 870 o más	la cantidad bajo certeza
	menos de 3 870, pero cerca de esa cantidad	la cantidad bajo certeza
	-----	-----
	+ 2 500	le da lo mismo la cantidad bajo certeza que la lotería A.
	-----	-----
	más de - 2 130 pero cerca de esa cantidad	la lotería A
	- 2 130 o menos	la lotería A

Ese punto de indiferencia entre la cantidad y la lotería A se conoce como su equivalente bajo certeza y se define como:

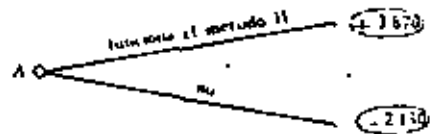
Equivalente bajo certeza de una situación incierta es la mínima cantidad por la cual el decisor está dispuesto a cambiar esa situación que posee.

La descomposición consiste en:

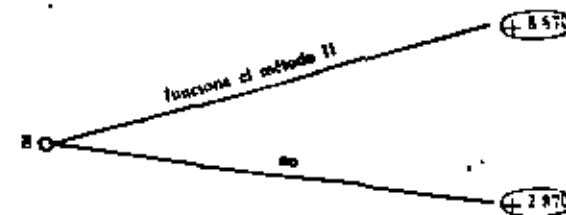
Paso a) considerar primero los puntos de incertidumbre terminales y determinar sus equivalentes bajo certeza, sustituirlos por su equivalente y continuar el proceso hasta que los puntos de decisión sean terminales. En estos puntos la decisión es obvia, seleccionar el acto que optimice la cantidad del criterio seleccionado.

Paso b) Si el punto de decisión analizado fue el punto inicial se termina el problema; si no es así quedarán puntos de incertidumbre como terminales, debiéndose continuar en el paso a).

En nuestro ejemplo los puntos de incertidumbre terminales son el A y el B; en el punto A su equivalente bajo certeza es + 2 500.

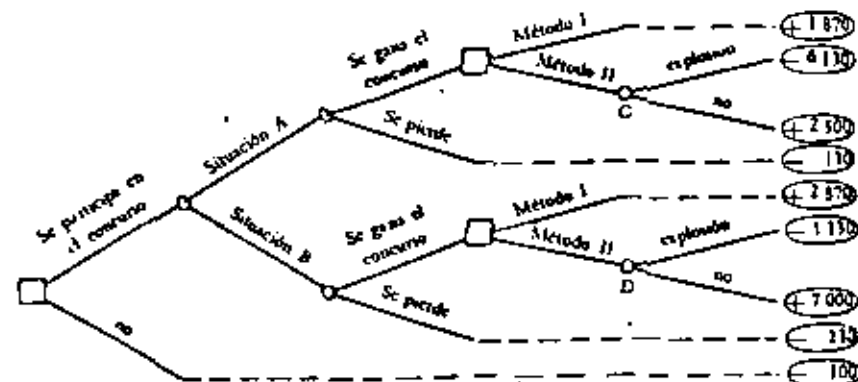


Supóngase que para el punto B

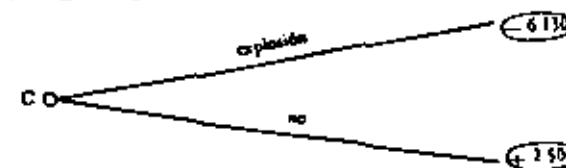


su equivalente bajo certeza es + 7 000.

Sustituyendo estos valores el nuevo diagrama es:



Ahora los puntos terminales son el C y el D. Se le pregunta al decisor cuál es el equivalente bajo certeza para cada uno de estos puntos. Supóngase que su respuesta es:

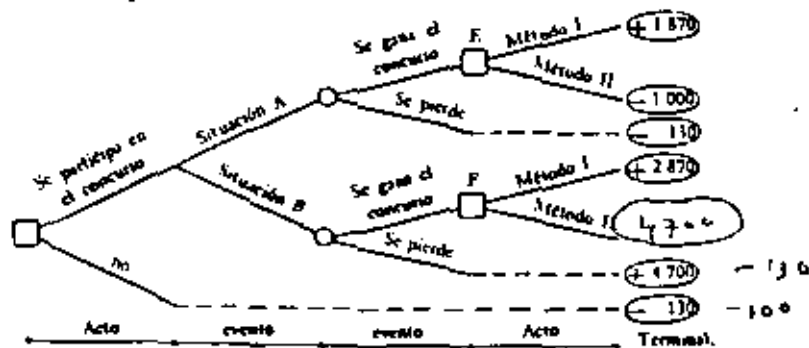


es indiferente con - 1 000 y



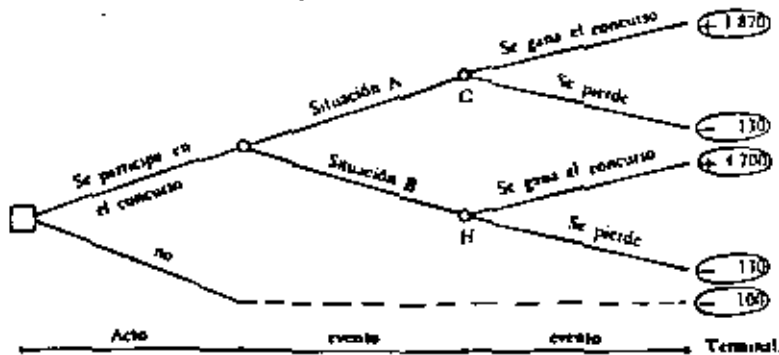
con + 4 700

Siendo el nuevo diagrama:



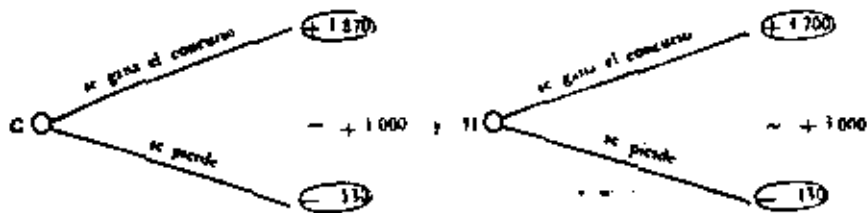
En este diagrama los puntos de decisión, E y F, son terminales. En el punto E entre +1870 y -1000 se selecciona +1870 que corresponde al método I y en el punto F con el método I se ganan 2870 y con el II 4700, obviamente se selecciona el método II.

El nuevo diagrama es:



Como los puntos de decisión analizados no fueron los iniciales, se vuelve al paso a).

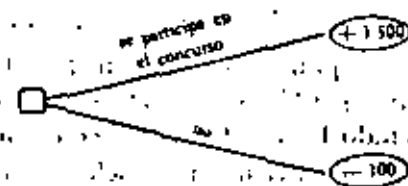
El decisor da como equivalentes bajo certeza para



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 +1500. Luego el diagrama es:



La selección final será entre ganar +1500 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 Cia. 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

$$3 + 5 + 4 = 10$$

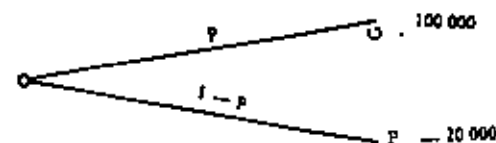
conocemos que existe un error, pero no podemos decir cuál de los cuatro números es el equivocado. En esta situación lo que se debe hacer es pedirle al decisor que considere nuevamente la determinación de sus equivalentes bajo certeza (quizá algunas de sus respues-

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.

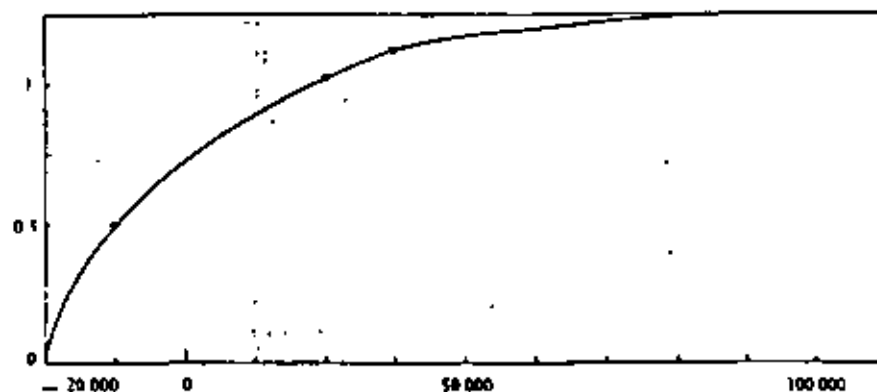
4. CURVA DE PREFERENCIA PARA EL CÁLCULO DE EQUIVALENTES BAJO CERTEZA

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.



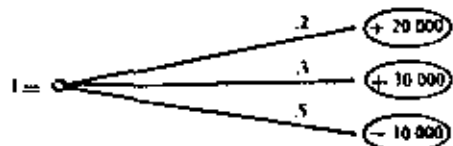
Si $p = 1$ el equivalente bajo certeza de la lotería anterior será igual a 100 000. Si $p = 0$ el equivalente será de - 20 000. Para valores intermedios de p se le pregunta al decisor cuál es su equivalente bajo certeza. De esta manera se tiene una correspondencia entre equivalentes bajo certeza y valores 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

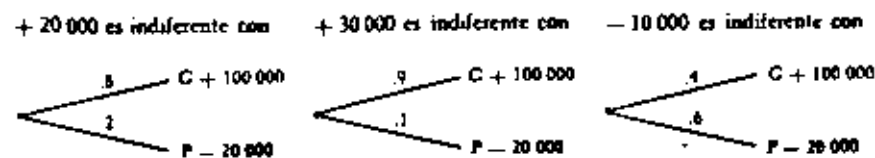
Suponga que desea calcular el equivalente de la lotería siguiente



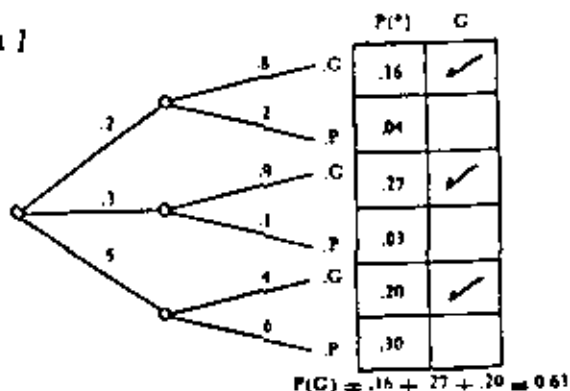
los números .2, .3 y .5 son las probabilidades respectivas de 20 000, 30 000 y -10 000.

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

De la curva se conoce que

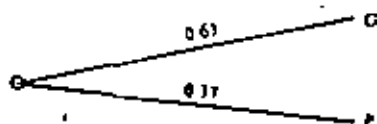


Entonces la lotería L



es equivalente con

luego la anterior es equivalente a



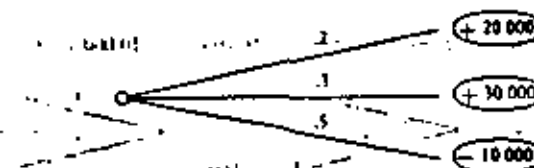
que yendo a la curva corresponde bajo certeza con + 2 000.

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 determinese 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



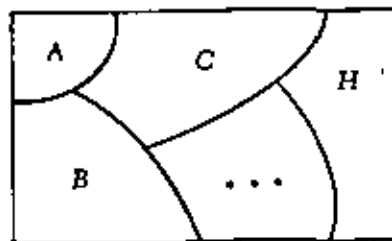
ii) la preferencia esperada es igual a $.2 \times .8 + .3 \times .9 + .5 \times .4 = .63$

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

La probabilidad de cualquier evento A se representará como $p(A)$.

Considérese una lista de eventos A, B, C, \dots, H mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos.



Sea U el evento que comprende a todos los de la lista. Por el axioma 2 $p(U) = 1$

Por el axioma 3 $p(U) = p(A) + p(B) + \dots + p(H)$

Por el axioma 1 $p(A) \geq 0, p(B) \geq 0, \dots, p(H) \geq 0$

luego si la suma de números positivos es igual a uno, ninguno de ellos puede ser mayor que la unidad.

De manera que podemos concluir que las probabilidades son números mayores o iguales que cero y menores o iguales a uno y representan posibilidades de ocurrencia.

Por ejemplo, considérese una moneda que al tirarla tiene la misma posibilidad de caer águila que sol. Entonces la probabilidad de águila será igual a 0.5 y la de sol también. Considere ahora una moneda que tiene águila en ambos lados, la probabilidad de águila será uno y la de sol cero. La probabilidad cero corresponde en este caso a un evento imposible (que salga sol en una moneda sin sol). Todos los eventos imposibles siempre tienen probabilidad cero, pero no todos los que tienen probabilidad cero son imposibles.

Probabilidad condicional

Primero se definirá lo que es la intersección de eventos.

La intersección de los eventos A y B es el conjunto de todos los puntos que están en A y en B simultáneamente. Se acostumbra representar por AB

1. 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.

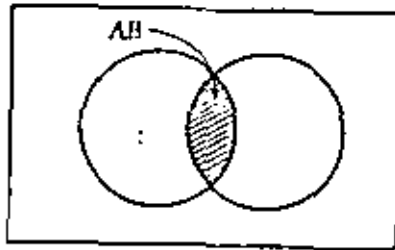
Debe cumplir con los tres axiomas siguientes.

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.

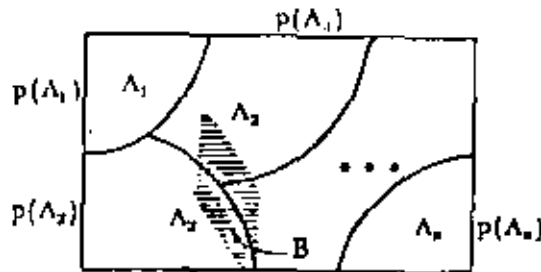
Eventos mutuamente exclusivos son aquellos en los que si ocurre uno excluye la ocurrencia de cualquier otro. Eventos colectivamente exhaustivos son aquellos que en su conjunto abarcan todos los eventos o resultados posibles.

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 .

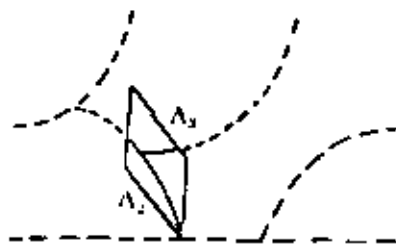


Por ejemplo si $A = \{1, 2, 5, 8, 9, 10\}$ $B = \{2, 3, 4, 5, 8\}$
 $C = \text{Jorge va al cine}$ $D = \text{María va al cine}$
 entonces $AB = \{2, 5, 8\}$ y $CD = \text{Jorge y María van al cine}$.

Considérese la lista de eventos A_1, A_2, \dots, A_n mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos y un evento B con sus probabilidades respectivas.



Se establece ahora la condición que sólo el evento B puede ocurrir.



A partir de este momento todos aquellos eventos que no tienen puntos en común con B tendrán como nueva probabilidad cero. (Esta probabilidad nueva se representará como $p(A_i/B)$.

(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

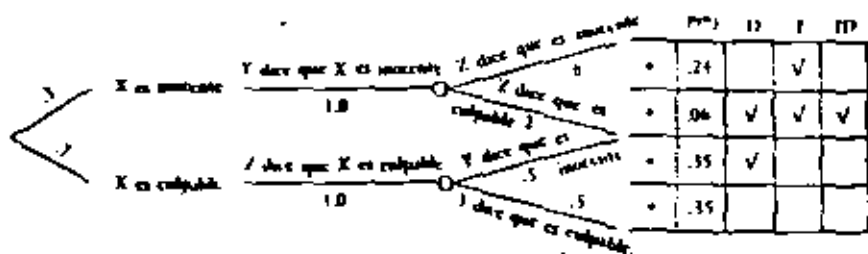
Se tiene un evento A cuya probabilidad se conoce, $p(A)$. Se sabe también que ocurrió el evento B y se calcula la probabilidad condicional de A , $p(A/B)$, se comparan y se encuentra que son iguales, $p(A) = p(A/B)$, esto indica que la ocurrencia de un evento no influye en la posibilidad de ocurrencia 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 J: 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 determinar su fallo con mayor confianza.

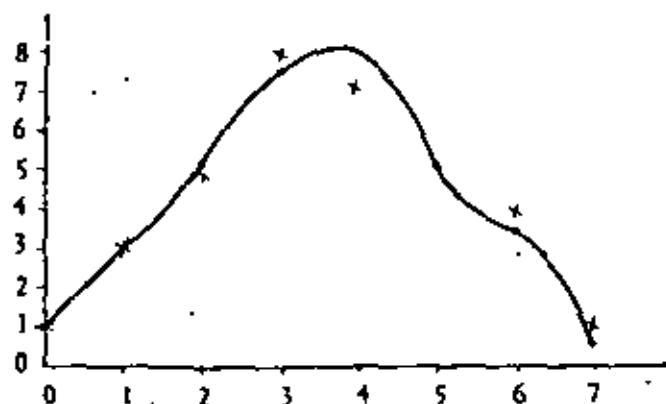
2. EVALUACION DE PROBABILIDADES

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	6
4	7
5	0
6	4
7	1
8 o más	0

Gráficamente 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

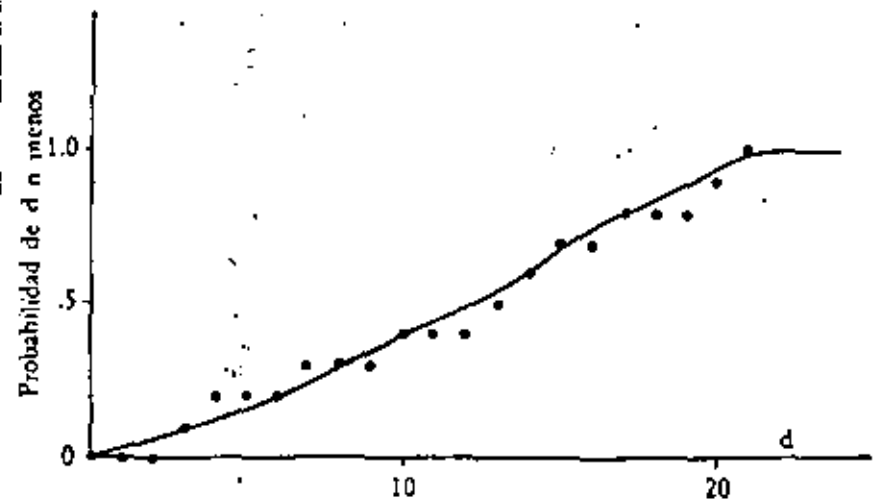
Ahora el registro tiene muy pocas observaciones, por lo que ya no es posible utilizar el método anterior. Supóngase que ahora la información es:

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

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.

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

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.

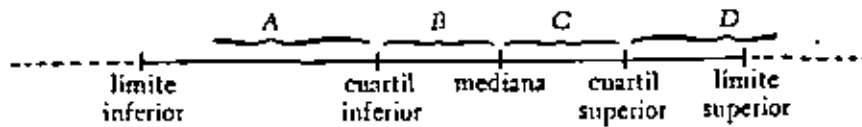
Una prueba para ver si no existe esta contaminación es cambiar los premios y preguntar si prefiere alguna de las dos opciones que se muestran a continuación:

<p>Opción A</p>		<p>Viaje a Acapulco, todo pagado y boletos para asistir al concurso en que se elegirá Miss Universo.</p>
<p>Opción B</p>		<p>Tendrá que boxear dos rounds con M. Ali.</p> <p>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.</p>

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.

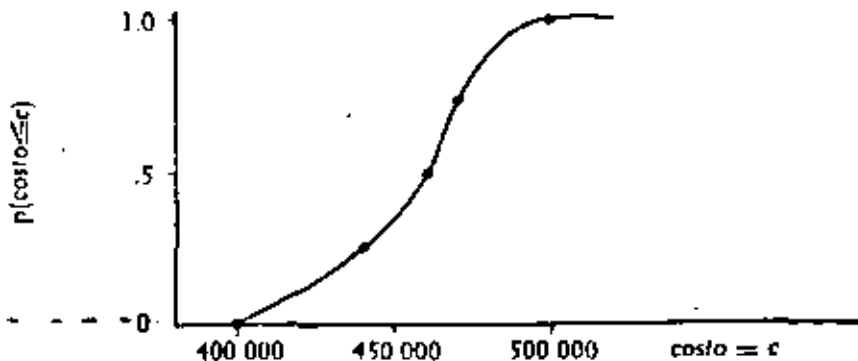


De manera que $p(A) = p(B) = p(C) = p(D) = 0.25$.

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:

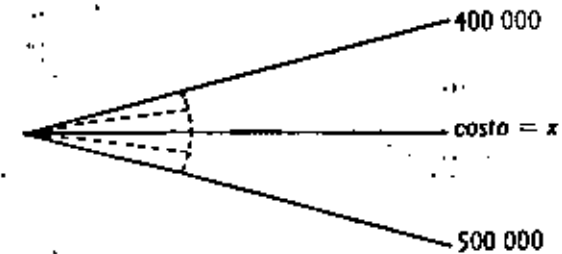


Un punto importante es que las consideraciones de los expertos quedan en forma explícita para análisis posteriores.

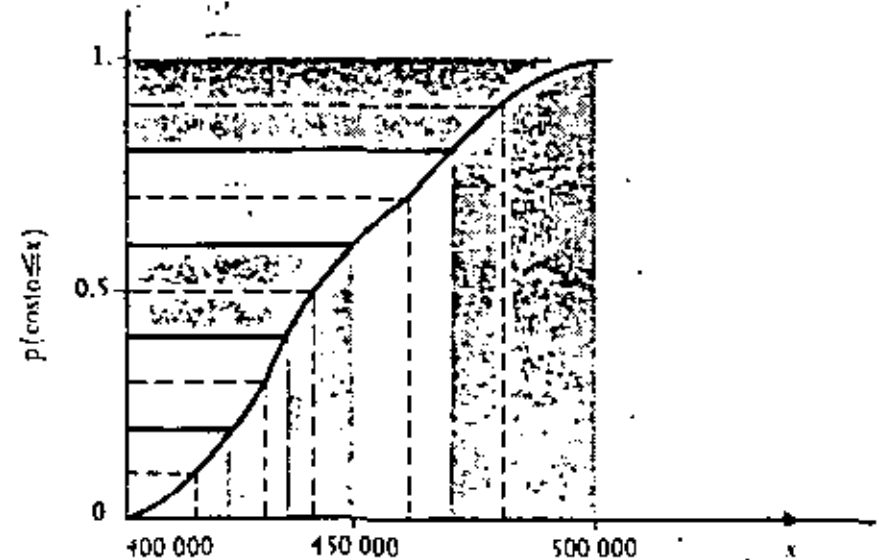
3. APROXIMACIÓN EN EL CALCULO DEL VALOR ESPERADO Y ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Aproximación en el valor esperado

Suponga que se tiene el punto de incertidumbre siguiente:



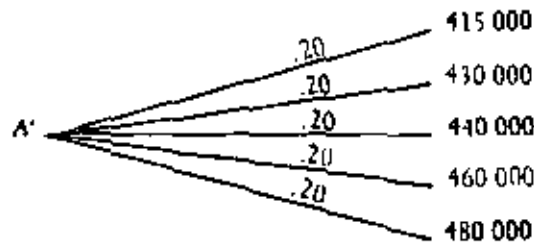
donde la distribución de probabilidad es:



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

SIMULACION DIGITAL

M. EN I. SILVA MIDENCES

ENERO, 1983

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 DINAMICO	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 DEMASIADO HESCOSOS PARA PROBARLOS EN ORGANIZACIONES VERDADERAS.

COMO BIEN SABEMOS, LA SIMULACION RECIBIO SU PRINCIPAL IMPETU DEBIDO A LOS PROGRAMAS AEROSPAZIALES PERO SU APLICACION SE ENCUENTRA 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 SEIS 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 HACE EVIDENTEMENTE DE UNA PERSPECTIVA SISTE-

NICA Y POR LO MISMO, NO ES UNA SECUENCIA SISTEMÁTICA DE PASOS EN LÍNEA O "DE UN SOLO GOLPE"

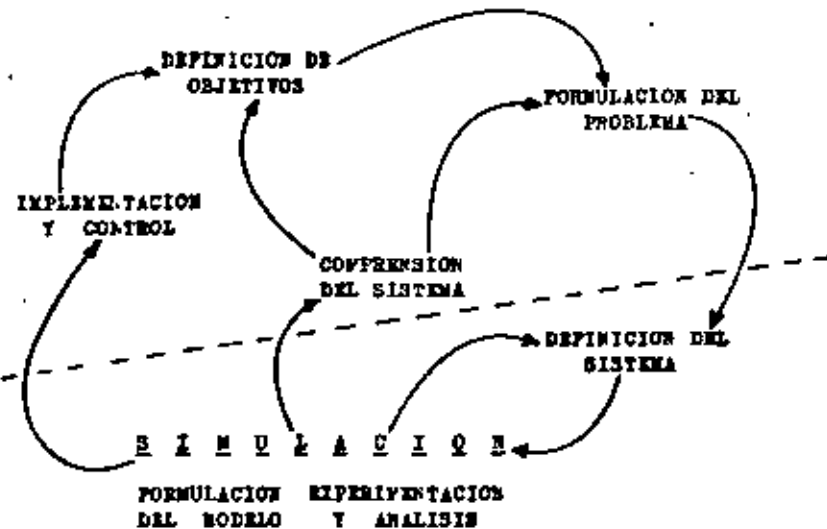


Fig. 1 ESTUDIO DE UN SISTEMA

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, FRAUDE 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 ACUERDO CON SU IMPORTANCIA DENTRO DEL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS. CON LO EXPUERTO 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 ESPECIFICO, EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO
- COMPARACION: COMPARAR SISTEMAS MUTUAMENTE COMPETITIVOS, DISEÑADOS PARA UNA FUNCIÓN ESPECIFICA, O BIEN COMPARAR POLITICAS 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, MANEJADA OPTIMA DADO UN CIERTO CRITERIO DE COMPORTAMIENTO.
- RELACIONES FUNCIONALES: ESTABLECER LA NATURALEZA DE LAS INTERRELACIONES ENTRE UNO O MÁS FACTORES SIGNIFICATIVOS 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 ILUSTRÁ EN LA FIG. 2:

NOSTROS ENCONTRAREMOS SIEMPRE QUE CUALQUIER MODELO ASI, CON -
SISTE DE ALGUNA COMBINACION DE LOS SIGUIENTES "INGREDIENTES",

- Componentes. PARTES CONSTITUYENTES DEL SISTEMA, TAMBIEN DENO-
MINADOS COMO ELEMENTOS O SUBSISTEMAS.

- Parámetros. CANTIDADES CONSTANTES, QUE NO VARIAN Y QUE GENE-
RAN UNA FAMILIA DE SISTEMAS.

- Variables. EXOGENAS O ENDOGENAS. LAS PRIMERAS SE GENERAN FU-
ERA DEL SISTEMA Y AFECTAN A ESTA PERO NO HAY "RECIPROCIDAD", EN
ESTADISTICA SE CONOCEN COMO INDEPENDIENTES. LAS SEGUNDAS, OB-
VIAMENTE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL SISTEMA, CONOCIDAS TAMBIEN
COMO VARIABLES DE ESTADO, DE NIVEL O DEPENDIENTES

- Interrelaciones Funcionales. DESCRIBE A LAS VARIABLES Y PA-
RAMETROS EN SU COMPORTAMIENTO DENTRO DE UNA COMPONENTE, O EN-
TRE COMPONENTES DE UN SISTEMA. ESTAS INTERRELACIONES O CARACTE-
RISTICAS 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 DISTRI-
BUIDOS O EMPLEADOS.

- Función Objetivo. ES UNA DECLARACION EXPLICITA DE LOS OBJE-
TIVOS DEL SISTEMA. USUALMENTE ES UNA PARTE INTEGRAL DEL MODELO,
Y SU MANIPULACION SE ABOCA A OPTIMIZAR O SATISFACER EL CRITE-
RIO ESTABLECIDO.

KIMAGREABY (18) DISTINGUE AL MENOS CINCO USOS COMUNES Y JUSTIFI-
CADOS:

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 LI-
MITANTE PER SE, Y DEBERAN ADOPTARSE COMO LINEAMIENTOS QUE SU-
GIEREN..., NORMAN..., INDICAN..., HAY UNA GRAN DIFERENCIA ENTRE
APRENDER MODELOS Y APRENDER A MODELAR.

LA EXPERIENCIA ENSEÑA QUE LA SUCESIVA RESTRUCTURACION DE UN MO-
DELO ES LA BASE DE SU ELABORACION Y ENRIQUECIMIENTO.....
SE ENPIEZA CON UN MODELO MUCHO MUY SIMPLE Y SE EVOLUCIONA HA-
CIA 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 ESTRUCTU-
RAS PREVIAMENTE ELABORADAS, DISCUTIDAS Y COMPROBADAS....
EL PROCESO DE ELABORACION Y ENRIQUECIMIENTO INVOLUCRA UNA CONE-
TANTE INTERACCION Y RETROALIMENTACION ENTRE EL MUNDO REAL Y EL
MODELO QUE SE ESTA PORJANDO.

"EL ARTE DEL MODELADO" CONSISTE EN LA HABILIDAD DE ANALIZAR -
UN PROBLEMA, ABSTRAR 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
- ESTABLEZGA 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 CON-
TRARIO SIMPLIFIQUELO

EL PROCESO DE SIMULACION

EXTENDIENDO LO ANTERIOR HACIA LA INVESTIGACION DE LAS PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DADO, ANALIZEMOS LA PORCION INFERIOR DEL CORTE HECHO EN LA FIG. 1 Y PROFUNDICEMOS DE ACUERDO A LA FIG. 3:

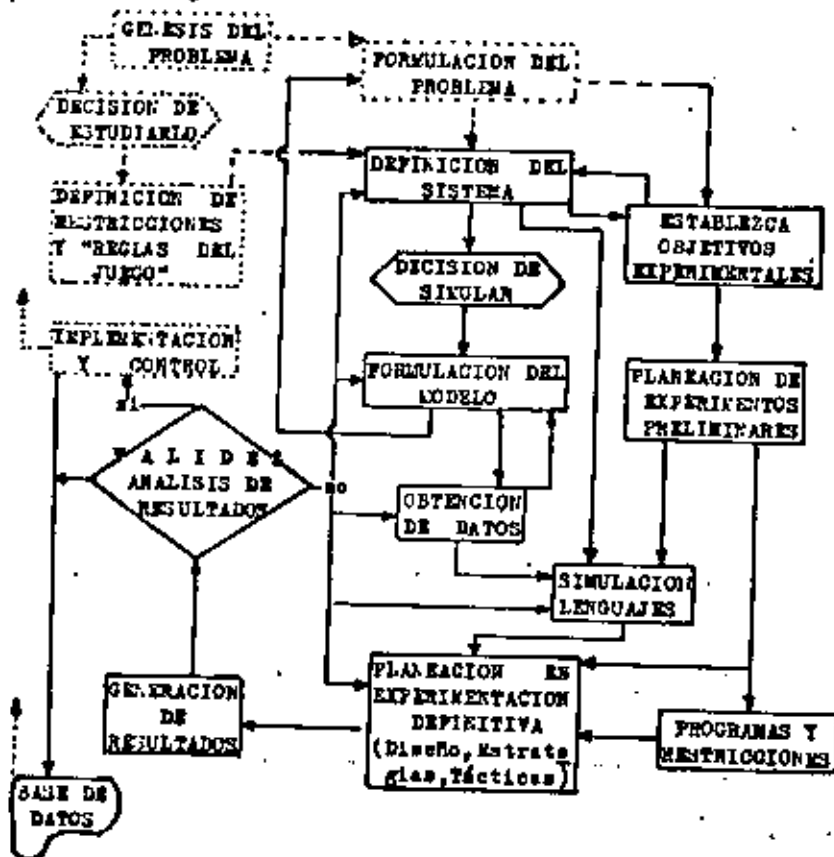


FIG. 3 PROCESO DE SIMULACION

EINSTEIN EXPRESO UNA VEZ QUE LA ADECUADA FORMULACION DE UN PROBLEMA, ES AUN MAS ESENCIAL QUE SU SOLUCION SIENDO ESTA EXCLUSIVAMENTE HABILIDAD MATEMATICA.

LA DEFINICION DE UN SISTEMA GENERALMENTE SE INICIA CON IMAGENES VERBALES (MODELO VERBAL) EN QUE SE NOS EXPRESA EN FORMA NO MUY PRECISA A VECES, LA SITUACION QUE DESEA RESOLVERSE, POR LOS EFECTOS MAS QUE POR LAS CAUSAS: PERDIDAS,...DEMORAS...CUELLOS DE BOTELLA"...CONFLICTOS LABORALES...ETC.

LA FORMULACION DEL MODELO PUEDE DESCOMONERSE EN DOS PASES: LA PRIMERA COMO UN PERIODO DE ORIENTACION Y FORMULACION DEL PROBLEMA (NO COMO LO VIVE QUIEN GENERA EL ESTUDIO) Y LA SEGUNDA PASE, LA INVESTIGACION DE LOS SUBSISTEMAS, (GERENCIAL, ADMINISTRATIVO, PROCESOS DE PRODUCCION, DISTRIBUCION, CONSUMO, PUBLICIDAD, FINANCIERO, ETC)

EN LA PRIMERA PASE ACHOFF Y SASIENI (20) PROPOEN:

1. IDENTIFIQUE LAS DECISIONES CRUCIALES Y QUIEN (ES) LA(S) EJECUTAN, ASI COMO EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES RELATIVAS AL SISTEMA
2. DETERMINE LOS OBJETIVOS RELEVANTES DE CADA UNO DE LOS RESPONSABLES EN CADA FACETA DE UNA DECISION HECHA.
3. IDENTIFIQUE LA(S) PERSONA(S) QUE DE ALGUN MODO PARTICIPAN, SU GRADO DE INFLUENCIA Y LOS CANALES A TRAVES DE LOS CUALES EJERCEN SU INFLUENCIA.
4. DETERMINE LOS OBJETIVOS E INTERESES PARTICULARES CON RESPECTO AL SISTEMA DE DICHAS PERSONAS
5. ESTABLECER CUALES ASPECTOS DE LA SITUACION ESTAN BAJO CONTROL Y EL RANGO DE ACCION QUE PUEDEN EJERCER LOS RESPONSABLES DE LA TOMA DE DECISIONES.
6. IDENTIFIQUE AQUELLOS ASPECTOS DEL ENTORNO O PROBLEMAS DETRATO DEL CONTEXTO QUE AFECTEN EL RESULTADO DE POSIBLES SOLUCIONES QUE NO ESTEN CONTROLADAS POR LOS DECISORES.

7. DETERMINE QUE OBJECIONES SON PROBABLES DE CONCRETARSE POR A QUELLOS PARTICIPANTES QUE SE OPONGAN A CAMBIOS EN EL SISTEMA.

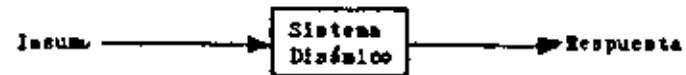
EN CUANTO A LA OBTENCION DE DATOS, SEGUNDA PASA:

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 DE 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. DEFINA LOS LIMITES DE PARTICIPACION DEL PERSONAL Y DECISORES
- LO ANTERIOR ES CRUCIAL, CONSIDERE SEGUN EL CASO, MANUALES, INSTRUMENTOS, REPORTE, FORMAS DE CAPTACION DE INFORMACION, ENTREVISTAS, 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 PUDEN PRESENTARSE VARIOS TIPOS DE PROBLEMAS, LOS CUALES PODEMOS CONCEPTUALIZARLOS DE LA MANERA SIGUIENTE:



DE LO ANTERIOR DEBEREMOS CONTAR O ASUMIR DOS DE LOS TRES CASOS, 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

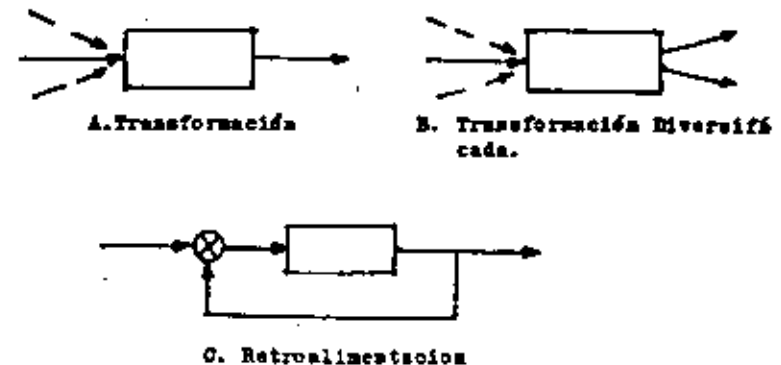


FIG. 4. SISTEMAS COMPONENTES BASICOS

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 TÉRMINO DE "MONTE CARLO" Y CUYA TÉCNICA, APLICADA EN ASPECTOS COLATERALES CON EL PROBLEMA NUCLEAR EN "LOS ALAMOS", POSTERIORMENTE GANÓ BASTANTE POPULARIDAD EN DIFERENTES CAMPOS, SIENDO SU NOMBRE SINÓNIMO DE SIMULACION PARA MUCHAS GENTES.

EL MÉTODO DE MONTE CARLO ES BÁSICO PARA EL CONCEPTO DE SIMULACION EN SISTEMAS QUE CONTIENEN ELEMENTOS ESTOCÁSTICOS O PROBABILÍSTICOS. LA TÉCNICA ES DESARROLLADA COMO EXPERIENCIA ARTIFICIAL GENERANDO NÚMEROS ALEATORIOS Y USANDO LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA DE INTERÉS. LA GENERACION DE NÚMEROS ALEATORIOS PUEDE REALIZARSE EN FORMA MANUAL, TABLAS, CON UNA SUBROUTINA POR COMPUTADORA (21) O POR OTRO MEDIO QUE NOS ARROJE DÍGITOS ALEATORIOS, UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDOS. LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD PUEDE DERIVARSE DE DATOS HISTÓRICOS, EXPERIMENTOS RECIENTES O POR UNA DISTRIBUCIÓN TEÓRICA CONOCIDA. LOS NÚMEROS ALEATORIOS SON USADOS PARA PRODUCIR UNA CORRIENTE ALEATORIZADA QUE "DUPLICARÁ" UNA EXPERIENCIA QUE PUDO HABER SIDO PRODUCIDA POR UNA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD MUESTREADA.

LA PRUEBA DE DISCREPANCIA ENTRE UNA FRECUENCIA OBSERVADA Y LA ESPERADA PROPUESTA POR EARL PEARSON EN 1903 Y DESARROLLADA POR SIR RONALD FISHER EN TABLAS PUBLICADAS EN 1924 ES LA χ^2 (CHI CUADRADA) Y USADAS HOY EN DÍA. OTRA PRUEBA ES LA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PUBLICADA INICIALMENTE EN 1948

¿COMO "ATACAR EL PROBLEMA" CUANDO ADENAS DE EXISTIR ELEMENTOS ESTOCÁSTICOS, EXISTE RETROALIMENTACION? AUNQUE BIEN, LOS SISTEMAS REALES SON MAS CONTINUOS DE LO QUE COMÚNMENTE SE SUPONE LA CONCETUALIZACION POR FLUJOS CONTINUOS ES UNA PRIMERA APROXIMACION EFECTIVA, INCLUSO DONDE SE DAN DECISIONES Y ACONTECIMIENTOS

REPETITIVOS PERO DISCRETOS, A PARTIR DEL CUAL SE PUEDE AGRAGAR DESPUES LA REALIDAD DE LAS ACCIONES SEPARADAS EN LAS CUALES ES NECESARIA DICHA REPRESENTACION. SE PROCEDERIA ASI ANTES DE ESTABLECER LAS CARACTERISTICAS ESTOCÁSTICAS (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 PORDERESTER (21) POR MEDIO DEL LENGUAJE DE SIMULACION "DYNAMO", (DYNAmic MOdelo).

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 COMÚN TÉCNICO.

PARAMETROS CUANDO NO SE PUEDE DETERMINAR EL VALOR DE LOS PARAMETROS EMPÍRICAMENTE, NO SE CUENTA CON REGISTROS HISTÓRICOS O FORMA DE EXPERIMENTARY... PODEMOS RECURRIR A UN GRUPO DE EXPERTOS A FIN DE OBTENER UNA EVALUACION SUBJETIVA. UNA TÉCNICA MUY ÚTIL AL RESPECTO ES EL MÉTODO 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. QUIERE(S) COORDINA(N) LAS DELIBERACIONES Y PRESERVA(N) EL ANONIMATO. LAS RESPUESTAS SON COMPUTADAS Y REGRASADAS A LOS PARTICIPANTES EN FORMA DE RESPUESTAS ESTADÍSTICAS. 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 FRONTERAS DEL SISTEMA
4. DETERMINE LAS COMPONENTES Y VARIABLES RELEVANTES
5. ESTABLEZCA HIPOTESIS Y ABSTRAYA LAS RELACIONES ENTRE COMPONENTES Y VARIABLES
6. ESTIPE 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, EDGEMORTH, WALRAS, LOS TRABAJOS EN ESTADISTICA ALLA POR LOS '20, '30, '40 DE FISHER, NEYMAN, PEARSON, WALD, JEFFREYS y OTROS. TIMBERGEN CON SU MODELO MATEMATICO PARA EL ANALISIS ECONOMICO: 1937, 39; UN MODELO DINAMICO MULTIRCUACIONAL, CON 50 ECUACIONES DE DIFERENCIA LINEALES ESTOCASTICAS). 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 HABLE DE COMPUTADORAS DE LA CUARTA GENERACION, PERO ASIENTENOS ALCUNOS 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 MANDULADAS 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, OBEDECEN REGLAS LOGICAS, PUNTO FLUJANTE 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 ALTAMENTE SISTEMATIZADA 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 (MIRALD)

LOS PROBLEMAS QUE VERDADERAMENTE SON UN RETO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS, TIENEN AL MENOS DOS COSAS EN COMUN: PRIMERO Y OBVIAENTE, 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 PSICOLOGICAS, TRANSPORTE, CONSUMO DE AGUA, ETC., SEGUNDO EL CONCEPTO DE RETROALIMENTACION, QUE EXISTE CUANDO EL TIEMPO -

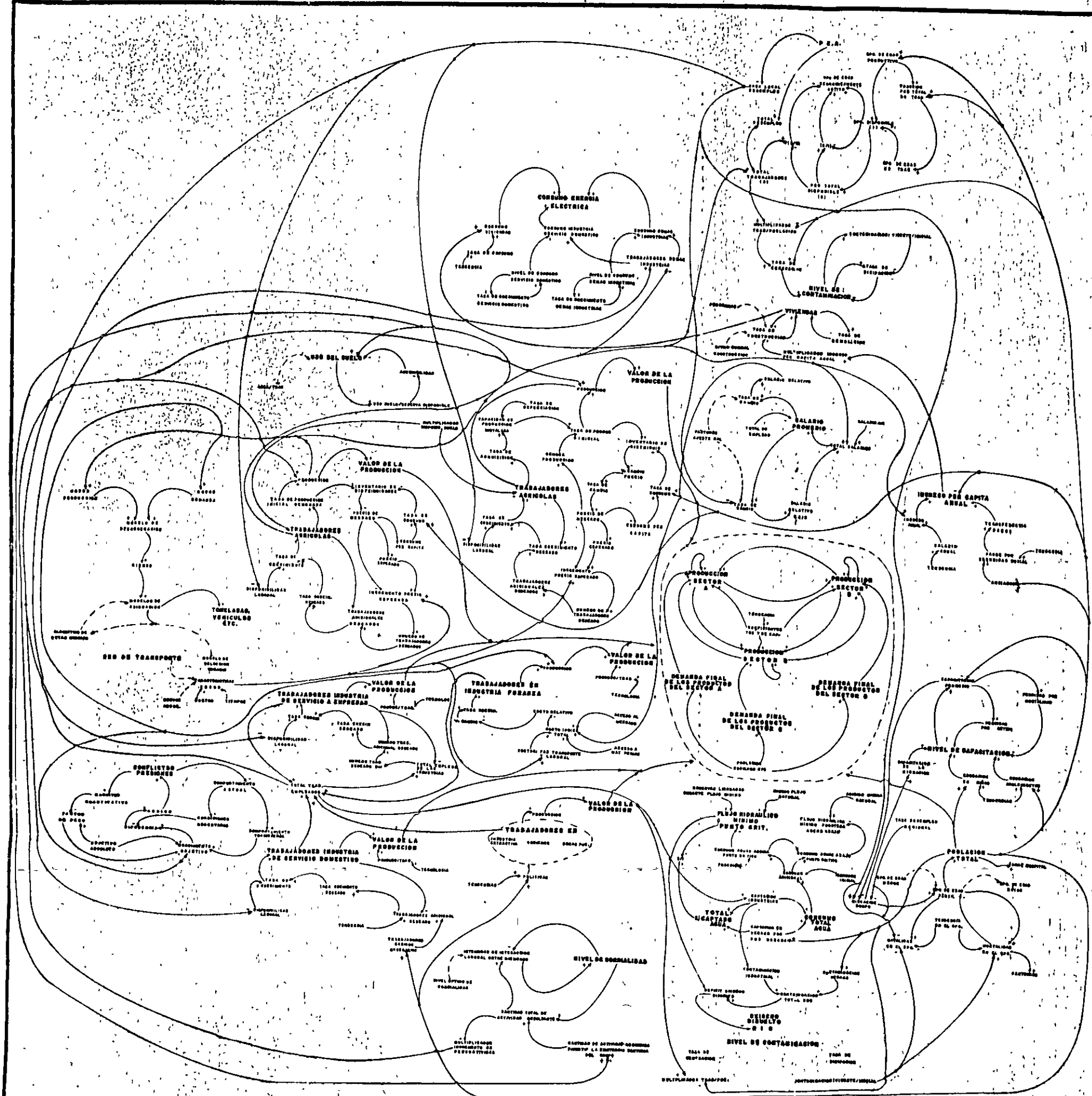


Fig III.2 DIAGRAMA TOTAL CAUSAL FIG 7

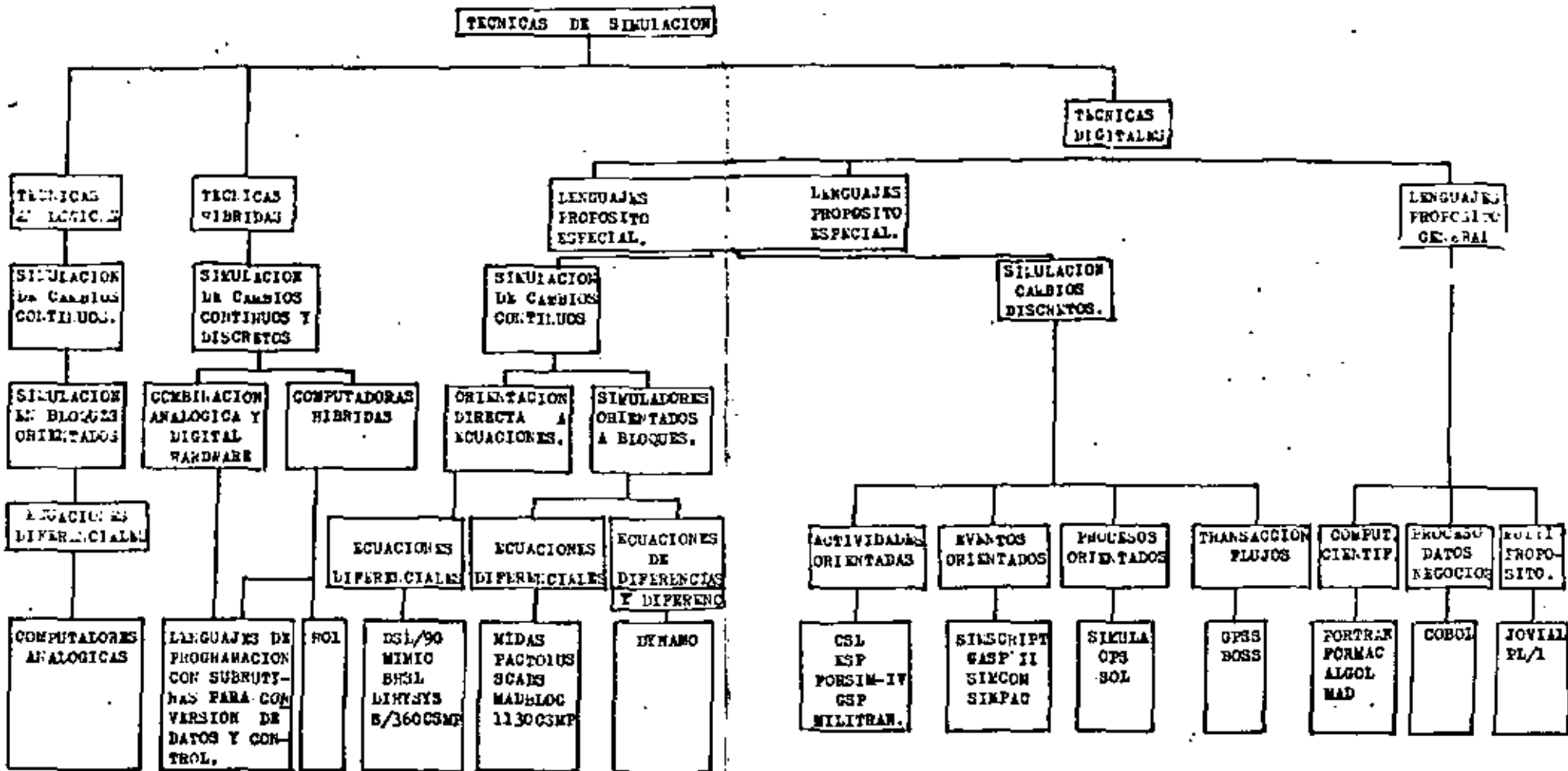


FIG.5 CLASIFICACION DE LENGUAJES

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 ADOPTADAS POR APARATOS LLAMADOS SERVOMECANISMOS Y DEBIDO A ELLOS APARECIO DICHA DEFINICION; LOS FISIOLOGOS UTILIZAN LA PALABRA HOMEOSTASIS.

TODO CUANTO HACEMOS COMO INDIVIDUOS, COMO ORGANIZACION, INDUSTRIA O SOCIEDAD SE LLEVA A CABO DENTRO DEL CONTEXTO DE UN SISTEMA DE RETROALIMENTACION INFORMATIVA, PERO SU DEFINICION ABARCA TANTO QUE, EN PRINCIPIO PARECIERA CARECER DE SIGNIFICACION LOS SISTEMAS DE RETROALIMENTACION SEAN MECANICOS, BIOLÓGICOS O SOCIALES, DEBIDO SU COMPORTAMIENTO A TRES CARACTERISTICAS: ESTRUCTURA, DEMORAS Y AMPLIFICACION. LA ESTRUCTURA NOS MUESTRA COMO ESTAN RELACIONADAS LAS PARTES UNAS CON OTRAS. SIEMPRE HAY DEMORAS 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 DECISIONES, POR EJEMPLO, DEL GOBIERNO.

LO ANTERIOR SE HA ABORDADO CON UN LENGUAJE ORIENTADO PARA MODELOS DINAMICOS COMO ES EL DINAMO, EL QUE, APOYANDOSE EN DIAGRAMAS CAUSALES, FIGS 6 Y 7 FACILMENTE PUEDE ANALIZARSE LA INTERACCION DE LAS PARTES COMPONENTES (SUBSISTEMAS) DE UN MODELO SISTEMICO DE UNA REGION(24). EN LAS FIGS 8 a 15 SE ILUSTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNA CORRIDA BASE CON ALGUNAS DE LAS VARIABLES MAS RELEVANTES (71) OBTENIENDOSE RESULTADOS NUMERICOS DE SOLAMENTE 122, DE UN CONJUNTO DE UNAS 1400 ECUACIONES APROXIMADAMENTE. (DE NIVEL, FASE, AUXILIARES, PARAMETROS, INICIALES Y FUNCIONES-TABLA), PARA UN HORIZONTE DE 50 AÑOS Y CON COMPUTOS DE DIFERENCIAL DE TIEMPO DE $\Delta t = 0.125$ de AÑO

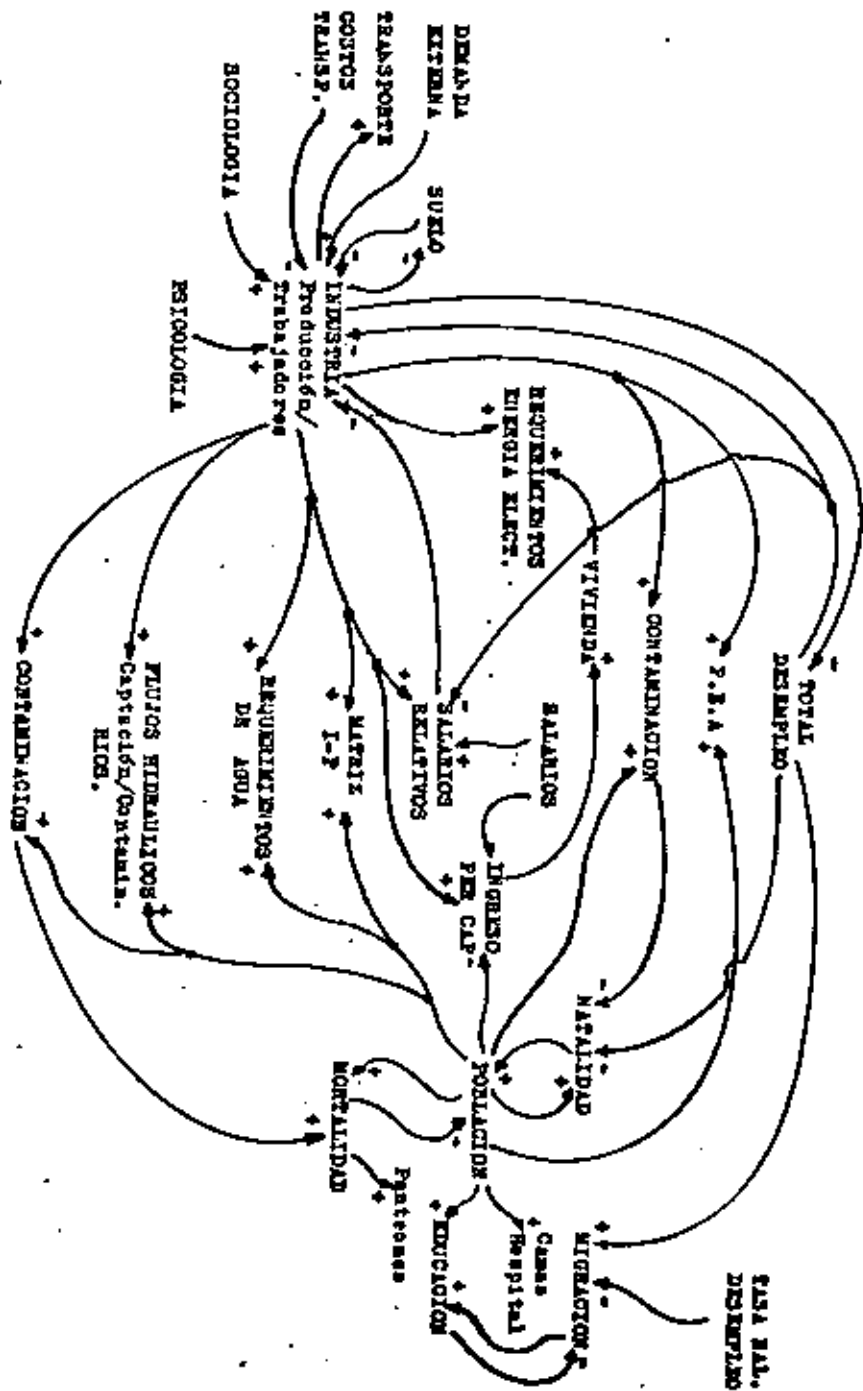


FIG 6 DIAGRAMA CAUSAL GENERAL

BEGAN PLOTTING AT 10:43.2014, 18 SEPTEMBER 1982

TRAIL-6, TP01208, F00119, F00121, TR0113, TR0115, TP0115, TP0116, TP0118, TP0119

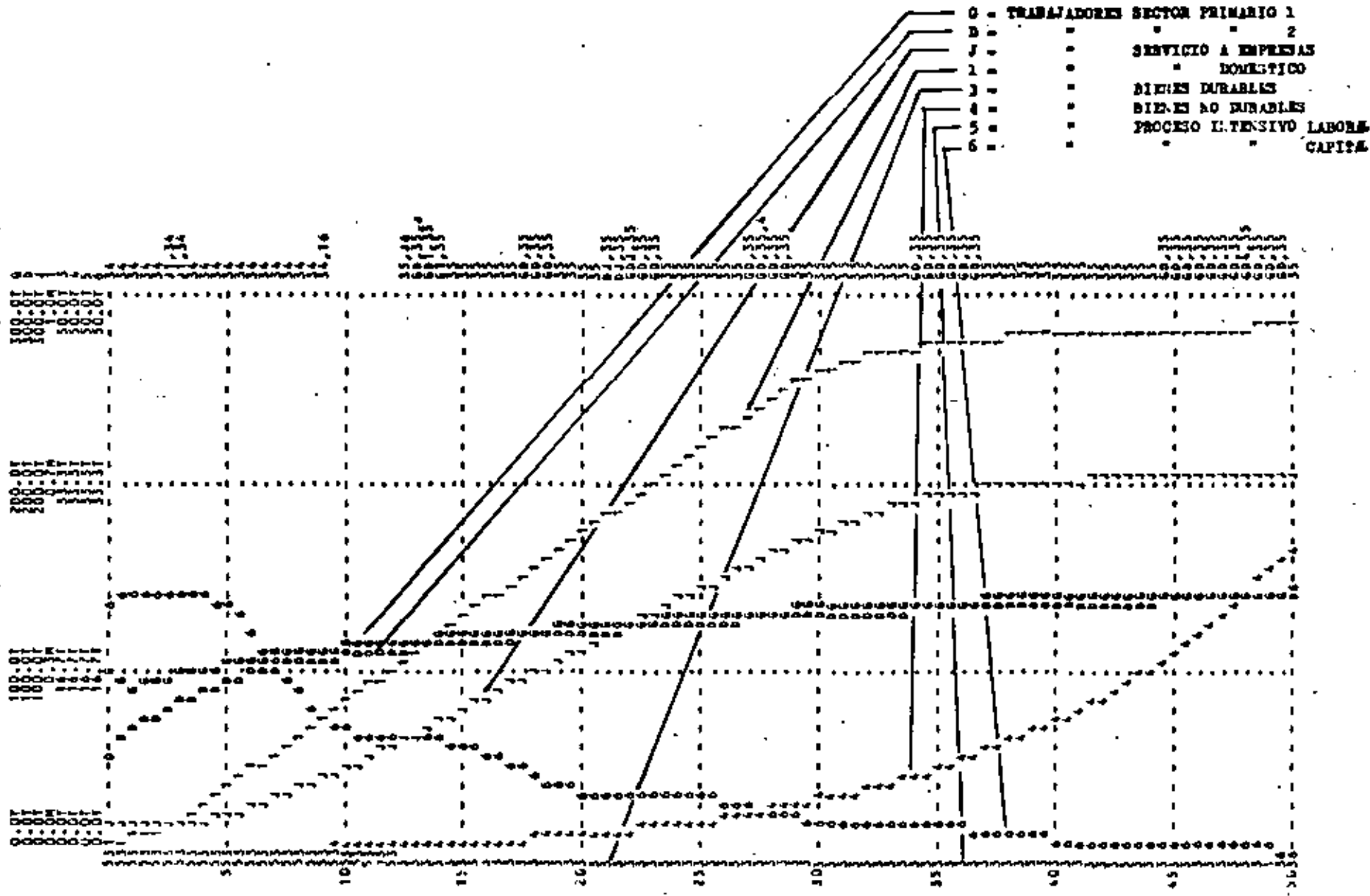


Fig 10

BEGAN PLOTTING AT 10143-3622, 13 SEPTEMBER 1982

NN1M1BT-P, NN1YDTA-C, NN1YSA-K2, NN1YSA-K1, MORT91=L, MORTISK=Y

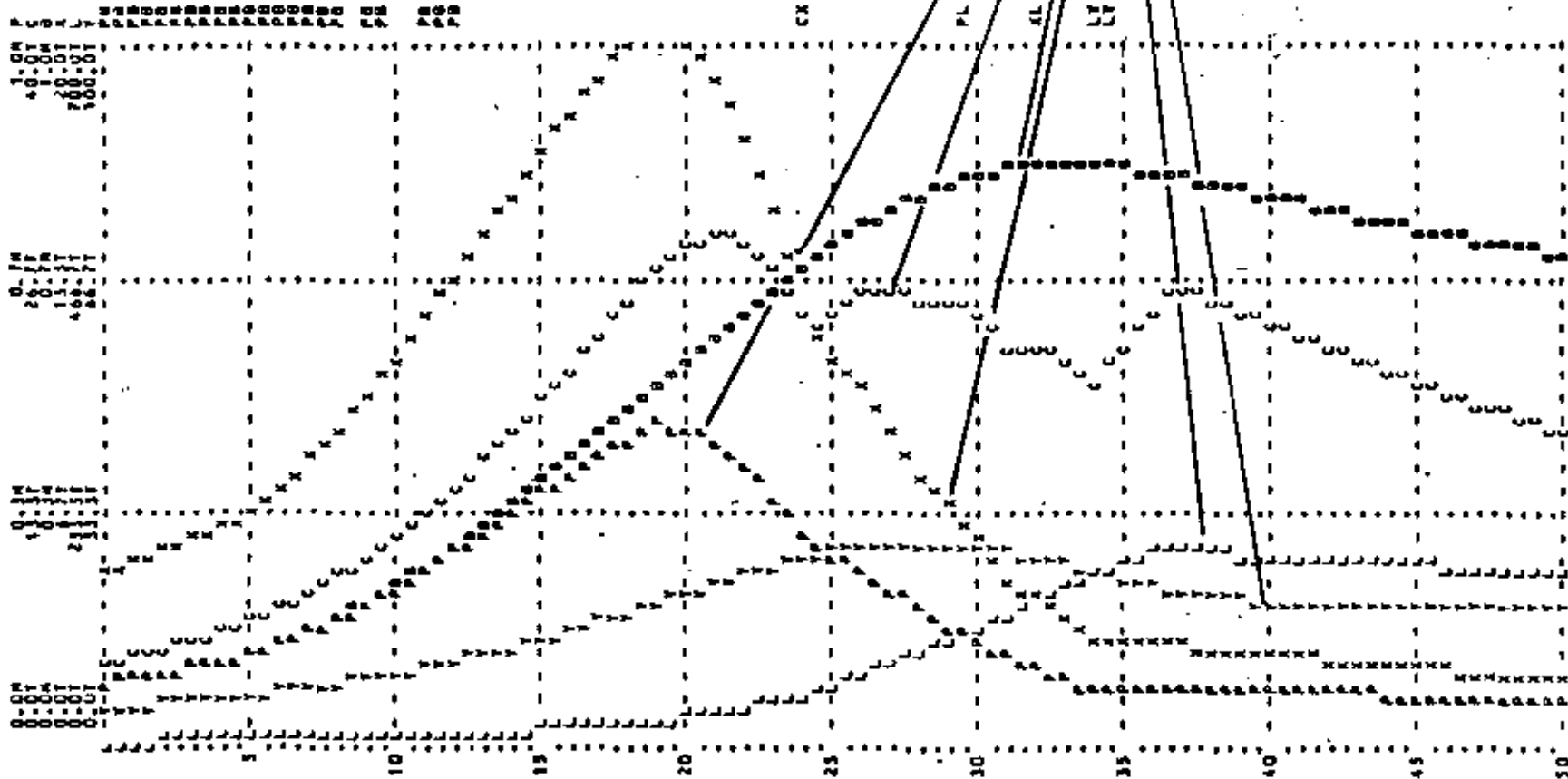
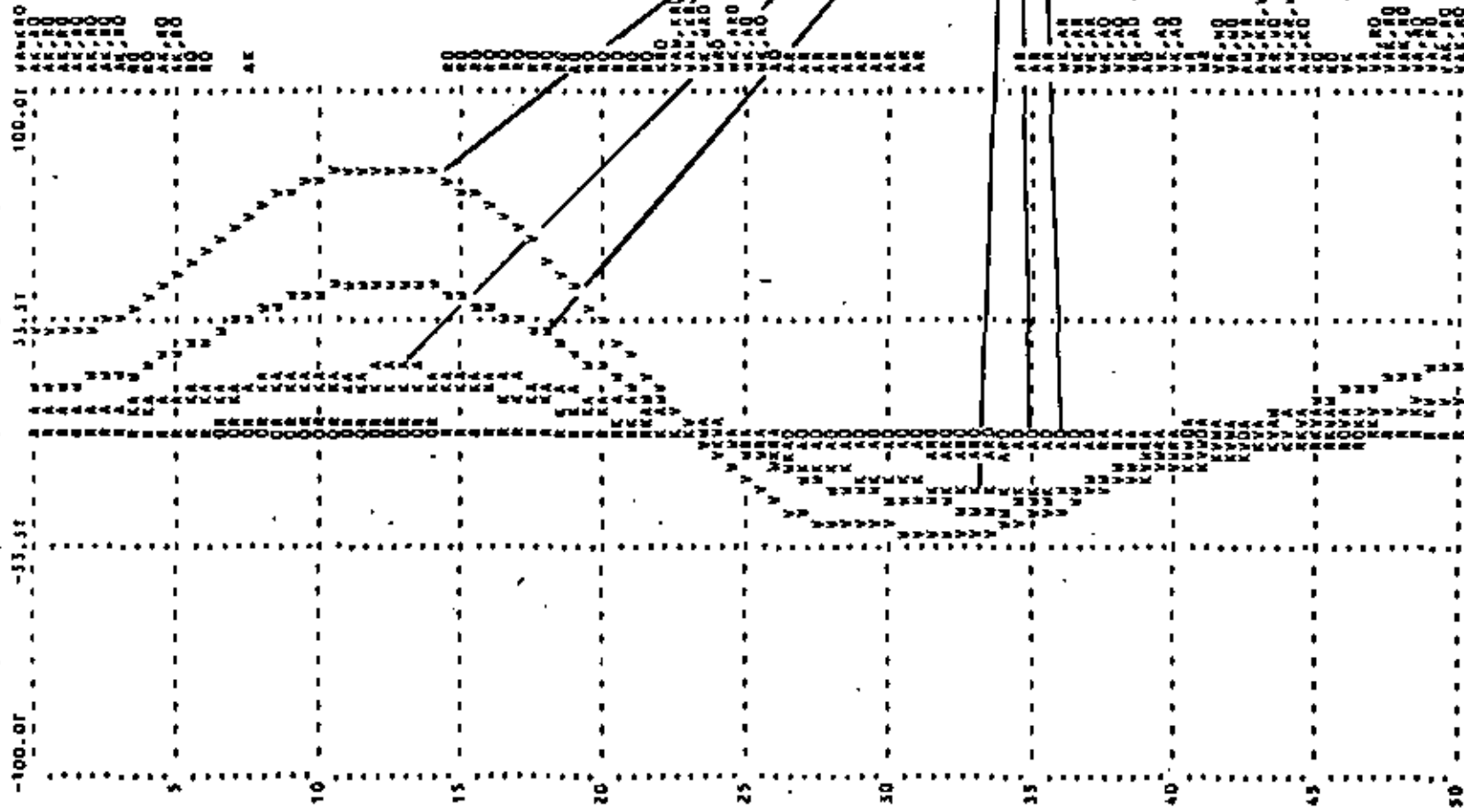


Fig 11

REGAN POLI70V AT 10:45-1150, 18 SEPTEMBER 1982

MCHIBIWI, MCHADBIWA, MCHODIWA, MCHAJIWA, MCHANGIWA, MCHANDIWA



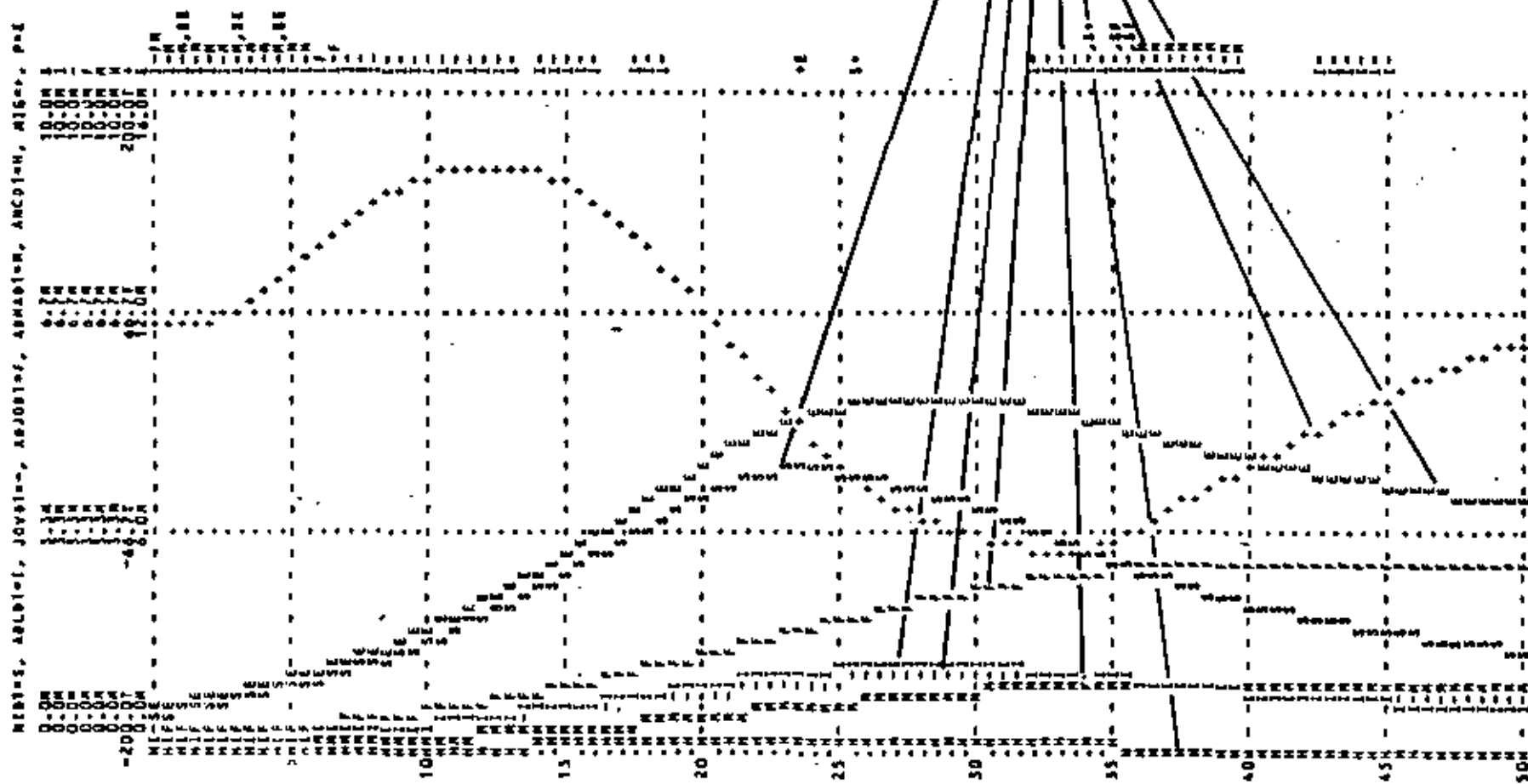
- V = Migration de Fides
- A = Adolescentes
- W = Jovens
- E = Adultos-Jovens
- R = Maduros
- O = Ancianos

6+

Fig 12

N = Niños
 I = Adolescentes
 J = Jóvenes
 P = Adultos y jóvenes
 M = Maduros
 H = Ancianos
 + = Migración
 X = Población

N = Niños
 I = Adolescentes
 J = Jóvenes
 P = Adolescentes Jóvenes
 M = Maduros
 H = Ancianos
 + = Migración
 X = Población

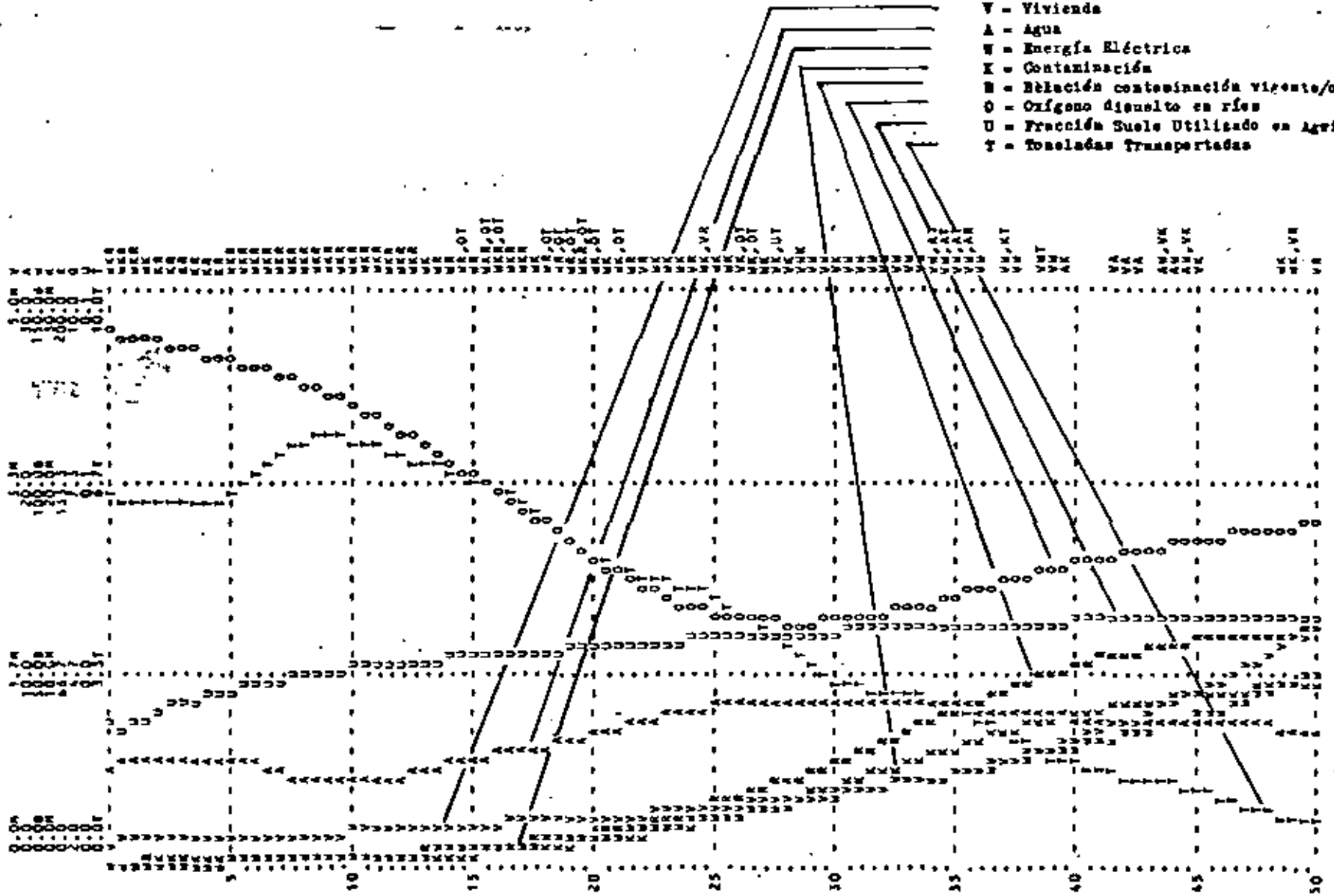


PAGE 21 P04170
 BEGAN PLOTTING AT 10:45:469, 18 SEPTEMBER 1982
 NIBS, ABLDTEL, JOY91M, ABJ081af, ABMAD1M, ANCD1M, MIG+ P-8

Fig 13

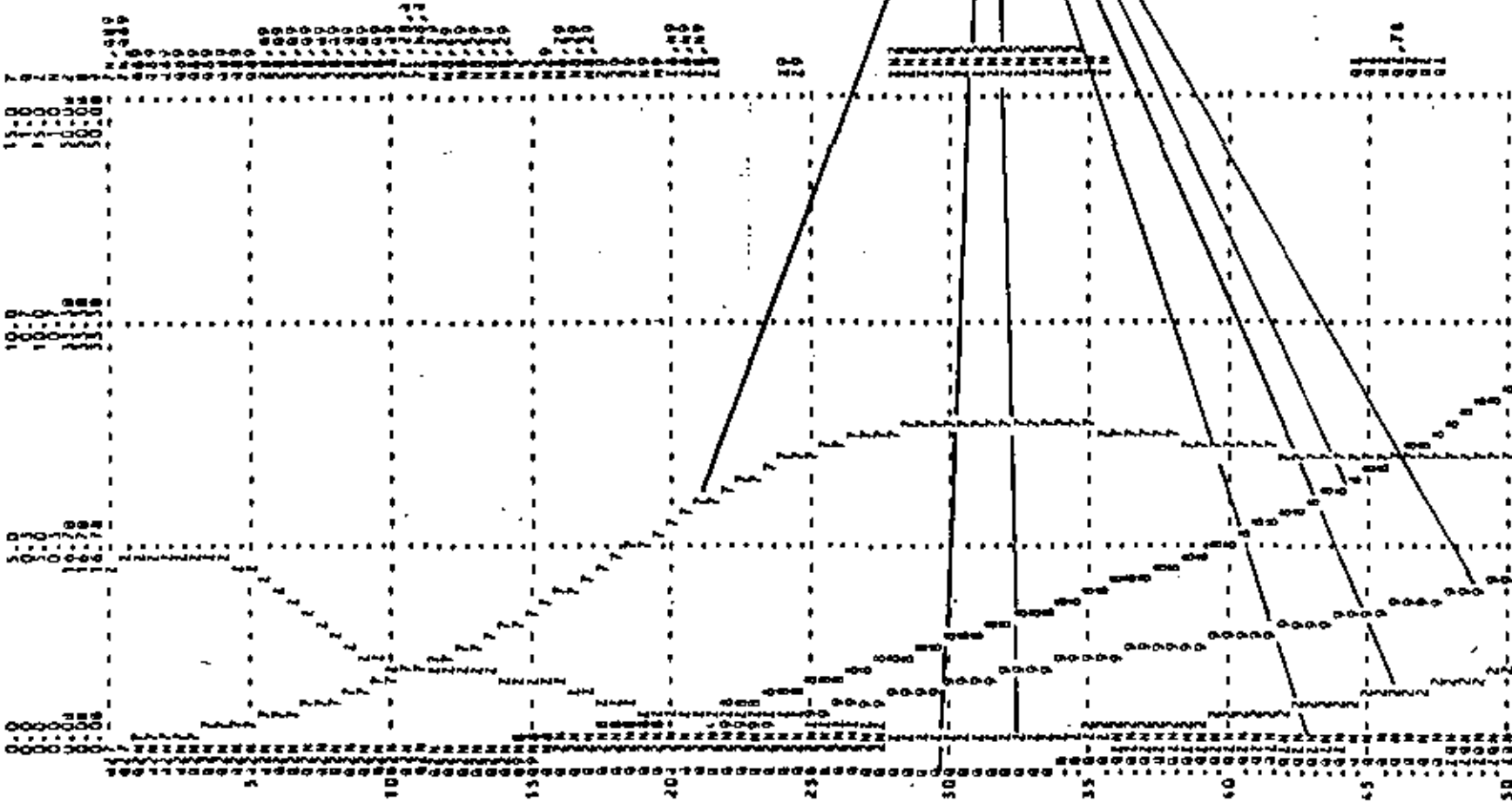
61

- V - Vivienda
- A - Agua
- W - Energía Eléctrica
- K - Contaminación
- B - Relación contaminación vigente/original
- O - Origeno disuelto en ríes
- U - Fracción Suelo Utilizado en Agricultura
- T - Toneladas Transportadas



Li+

Fig 14



- 7 = Agua Consumo Urbano
- Q = " " " Industria en General
- E = " " " Proceso Intensivo Capital
- N = " " " Agrícola
- 2 = Energia Eléctrica Consumo Urbano
- B = " " " Indust Serv Domest.
- 9 = " " " Industria

FINISHED RUN NUMBER POLI/O AT 10:45.6342, 18 SEPTEMBER 1982

Fig 15

EXPERIMENTACION

EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS ESENCIALMENTE ES UN PLAN PARA CAPTAR LOS RESULTADOS EN DIFERENTES NIVELES DE CANTIDAD Y CALIDAD DE INFORMACION RESULTANTE Y POR LO MISMO, A DIFERENTES PRECIOS. EL USO EFECTIVO DE LOS RECURSOS ESTA PROFUNDAMENTE AFECTADO POR EL DISEÑO, YA QUE ÉSTE DETERMINA EN GRAN MEDIDA LA FORMA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA REVISAR LOS RESULTADOS, ASÍ COMO LAS RESPUESTAS A LOS PLANTAMIENTOS GENERADOS, SIN EXCESIVO USO DE TIEMPO Y DINERO, POR LO MISMO, LA CONFORMACION DE EXPERIMENTOS REQUIERE UN PARTICULAR ENFOQUE PARA MANIPULAR LA INFORMACION/ RESULTADOS.

EXISTEN ALGUNAS DIFERENCIAS QUE DEBEN TOMARSE EN CUENTA, ENTRE REALIZAR UN EXPERIMENTO DE SIMULACION POR COMPUTADORA Y UNO FÍSICO:

- FACILIDAD PARA REPRODUCIR UNA CONDICIÓN EXPERIMENTAL DADA
- FACILIDAD PARA DETENERLE Y RESUMIR, Y REPLICARLO LO REALIZADO (SINERGISMO-HOMBRE/MAQUINA)
- CONTROL EN LA VARIACION. EN LOS EXPERIMENTOS FÍSICOS ESTO - CÁSTICOS LA VARIABILIDAD SE ENCUENTRA MAS ALLA DEL CONTROL - DEL EXPERIMENTADOR Y POR COMPUTADORA ES CONSTRUIDA EN FORMA DELIBERADA.

EN LOS ESTUDIOS MAS COMPLEJOS DE SIMULACION, EL NUMERO DE POSIBLES COMBINACIONES DE FACTORES Y SUS VALORES DENTRO DEL RANGO QUE PUEDA ADOPTAR CADA FACTOR ES INFINITO ASÍ COMO LOS ANÁLISIS QUE SE DERIVAN SIENDO LOS MAS COMÚNES:

- COMPARACION DE MEDIAS Y VARIANCIAS DE LAS ALTERNATIVAS
- DETERMINACION DE LA IMPORTANCIA O EFECTOS DE DIFERENTES VARIABLES Y SUS LIMITACIONES
- BUSQUEDA DEL VALOR OPTIMO PARA UN CONJUNTO DE VARIABLES

LOS ANÁLISIS DEL PRIMER TIPO USUALMENTE SON CONOCIDOS COMO EX-

PERIMENTOS UNIFACTORIALES Y SE ENCUENTRAN ESTRECHAMENTE LIGADOS CON LA MUESTRA, CONDICIONES INICIALES Y LA PRESENCIA O AUSENCIA DE CORRELACION. EN EL SEGUNDO TIPO DE ANÁLISIS PRIMORDIALMENTE SE APOYA EN EL ANÁLISIS DE VARIANCIAS Y TÉCNICAS DE REGRESION PARA ANALIZAR LOS RESULTADOS Y, EN EL ÚLTIMO, SE REQUIEREN TÉCNICAS DE BUSQUEDA O SECUENCIALES

EL NUMERO POSIBLE DE COMBINACIONES DE FACTORES Y SU RANGO DE VARIABILIDAD, SE CONOCE COMO "MODELO ESTRUCTURAL" EN EL CUAL NO DEBE DE PERDERSE DE VISTA LO SIGUIENTE:

- ¿LOS VALORES SON CUALITATIVOS O CUANTITATIVOS?
- ¿SON FIJOS (CONTROLADOS) O ALEATORIOS?
- ¿LOS EFECTOS LINEALES PUEDEN SER MEDIDOS?

DICHO MODELO SE EXPRESA COMO SIGUE:

$$N_n = (q_1)(q_2)(q_3)\dots(q_k)$$

EN DONDE: N_n = NUMERO DE CELDAS EN EL EXPERIMENTO

k = NUMERO DE FACTORES EN EL EXPERIMENTO

q_i = NUMERO DE NIVELES DEL i -AVO FACTOR, $i=1,2,\dots,k$

ESTE MODELO INDICA LO QUE PODRIA HACERSE, NO LO QUE PUEDE HACERSE.

SI $q_i=2$; EL MODELO SERIA SIMETRICO: $N_n = 2^k$

EL "MODELO FUNCIONAL" NOS INDICA LO QUE PUEDE HACERSE:

$$N = pq^k$$

EN DONDE k = NUMERO DE FACTORES (PARAMETROS O VARIABLES DE ENTRADA)

q = NUMERO DE NIVELES DE LOS FACTORES

p = NUMERO DE REPETICIONES

N = NUMERO DE CORRIDAS REQUERIDAS

CON RESTRICCIONES POR COSTO DE TIEMPO EN COMPUTADORA, EL REDUCIR EL NUMERO DE CORRIDAS SERIA CON EL CRITERIO DE CUALES FACTORES SON DOMINANTES Y EN BASE ELLO DISMINUIR EL NUMERO DE CORRIDAS; DE LA ECUACION ANTERIOR:

$$\frac{dN/dk}{dN/dq} = \frac{q \ln q}{k}$$

EN EL CASO DE QUE:

$$\frac{dN}{dk} > \frac{dN}{dq}$$

ENTONCES UNA UNIDAD DE CAMBIO EN EL NUMERO DE FACTORES ES DOMINANTE SOBRE UNA UNIDAD DE CAMBIO EN EL NUMERO DE NIVELES Y EN LA REDUCCION DEL NUMERO TOTAL DE CORRIDAS POR COMPUTADORA, INVERSAMENTE:

$$\frac{dk}{dk} < \frac{dq}{dq}$$

ENTONCES UN CAMBIO UNITARIO EN EL NUMERO DE NIVELES ES DOMINANTE SOBRE UN CAMBIO EN EL NUMERO DE FACTORES/

SI AHORA CONSIDERAMOS:

$$\frac{dN/dp}{dN/dq} = \frac{q}{kp}$$

SI:

$$\frac{dN}{dp} > \frac{dN}{dq}$$

ENTONCES UN CAMBIO EN EL NUMERO DE REPETICIONES ES DOMINANTE SOBRE UN CAMBIO UNITARIO EN EL NUMERO DE NIVELES Y EN LA REDUCCION DEL NUMERO TOTAL DE CORRIDAS, ASI MISMO:

$$\frac{dN/dp}{dN/dk} = \frac{1}{p \ln q}$$

Y SI:

$$\frac{dN}{dp} > \frac{dN}{dk}$$

A SI, UN CAMBIO UNITARIO EN EL NUMERO DE REPETICIONES ES DOMI-

NANTE SOBRE UN CAMBIO EN EL NUMERO DE FACTORES Y EN EL NUMERO TOTAL DE CORRIDAS POR COMPUTADORA Y POR ENDE, EN COSTOS

CON BASE EN LO ANTERIOR SE ESTABLECE LO SIGUIENTE:

1. SI $kp > q$ Y $k > q \ln q$, ENTONCES LOS NIVELES SON DOMINANTES. V.GR: UN CAMBIO EN EL NUMERO DE NIVELES ARROJARA UNA REDUCCION EN COSTOS, POR UNIDAD QUE DECRESCA.
2. SI $kp > q$ Y $k < q \ln q$, ENTONCES LOS FACTORES SON DOMINANTES.
3. SI $p < q$ Y $p \ln q < 1$, ENTONCES LAS REPETICIONES SON DOMINANTES.

EXTIENDIENDO LO ANTERIOR, ¿COMO "OPERAR" CUANDO EL MODELO DINAMICO TIENE RETROALIMENTACION? EN EL CASO DE UN ANALISIS REGIONAL COMO EL EJEMPLO VISTO ANTERIORMENTE, DIFICILMENTE PUEDE IMAGINARSE UN OBJETIVO UNIDIMENSIONAL COMO PODRIA SER LA MAXIMIZACION DEL INGRESO O LA MINIMIZACION DE LA TASA DE DESempleo, FUERA LO UNICO QUE NOS SATISFACIERA, Y NO CONSIDERARAMOS LA AMPLIA VARIEDAD DE POLITICAS O INTERESES A NIVEL NACIONAL, INTERESTATAL, SUBREGIONAL, O PRIVADO, ¿O BIEN EN UNA EMPRESA?

ES AQUI CUANDO SURGE EL VALOR DE LOS LENGUAJES ORIENTADOS Y SOBRE TODO LA VISUALIZACION DE LA FENOMENOLOGIA, LA INTERACCION Y FLUCTUACION DE LAS VARIABLES A TRAVES DEL TIEMPO Y, COMO EFECTO MULTIPLICADOR, EL "SINERGISMO" HOMBRE-MAQUINA.

COMO UN APOYO A LA CREATIVIDAD Y COMPRENSION DE LOS MODELOS DINAMICOS, SE TIENE LO SIGUIENTE:

1. CONVIERTE VARIABLES EN CONSTANTES.
2. ELIMINE O COMBINE VARIABLES
3. CAMBIE DE VALORES LOS PARAMETROS
4. ASUMA LINEALIDADES
5. INCLUYA HIPOTESIS MAS RIGIDAS Y RESTRICCIONES ADICIONALES
6. CONTRAIGA LAS FRONTERAS DEL SISTEMA

7. NEUTRALIZE O ELIMINE INTERACCIONES

8. DESVENUZE, ANALIZE, Y REPLIQUESE LAS FALLAS QUE SE PRESENTEN COMO SEGURAMENTE HABRA OBSERVADO, LOS DIAGRAMAS CAUSALES SON - SURENTE UTILES.

VALIDEZ

UN MODELO ES FORMULADO EN BASE A UN PROPOSITO Y SU VALIDEZ SOLO PUEDE SER EVALUADA EN TERMINOS DE ESTE...". UN MODELO ES BUENO CUAL LO LOGRA LO QUE SE ESPERA DE EL. ESTO QUIERE DECIR QUE LA VALIDEZ COMO CONCEPTO ABSTRACTO SEPARADO DEL OBJETIVO, NO TIENE SIGNIFICACION UTIL. UN MODELO QUE PUEDE SER EFICIENTE PARA UN OBJETIVO PUEDE CONDUCIR A ERROR Y POR LO TANTO, SER ALGO POCO QUE INUTIL PARA OTRO PROPOSITO..."(27). RICHARDSON Y PUGH (25) TRANSFORMAN LA VALIDEZ EN TRES FACETAS: ¿ADECUADO? ¿CONSISTENTE? ¿UTIL Y EFECTIVO? ENFOCADO TANTO A LA ESTRUCTURA COMO AL COMPORTAMIENTO DEL MODELO DINAMICO TAL COMO SE ESTABLECE EN LA TABLA SIGUIENTE:

ENFOCADO A: EN TIEMPO, PRE	ESTRUCTURA	COMPORTAMIENTO
PRUEBA DE ADECUABILIDAD CON EL PROPOSITO.- (Prueba en cada hacia - le interno)	CONSISTENCIA DIMENSIONAL CONDICIONES EXTREMAS EN ECUACIONES FRONTERA ADECUADA: -VARIABLES IMPORTANTES -POLITICAS RELEVANTES.	PARAMETROS (IN)SENSITIVIDAD: -CARACT. DE COMPORTAMIENTO. -CONCLUSIONES DE POLITICAS ESTRUCTURA (IN)SENSITIVIDAD: -CARACT. COMPORTAMIENTO -CONCLUSIONES DE POLITICAS.
PRUEBA DE CONSISTENCIA CON LA		

	ESTRUCTURA	COMPORTAMIENTO
PRUEBA DE CONSISTENCIA CON LA REALIDAD (Prueba comparando el modelo con la informacion del mundo real.)	ASPECTO DE VALIDEZ -TASAS Y NIVELES -RETROALIMENTACION -DEMORAS VALORES DE PARAMETROS: -AJUSTE CONCEPTUAL -AJUSTE NUMERICO	RELACION DE MODOS DE REPETICION (Frontera adecuada para el comportamiento) -PROBLEMA DE COMPORTAMIENTO -POLITICAS PASADAS -COMPORTAMIENTO ANTICIPADO COMPORTAMIENTO SORPRESIVO SIMULACION DE CONDICIONES REALES PRUEBAS ESTADISTICAS -ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO. -CORRELACION & REGRESION
CONTRIBUCION A LA UTILIDAD & EFECTIVIDAD HACIA UN MODELO ADECUADO Y CONSISTENTE.	CARACTERISTICAS APROPIADAS DE EXPOSICION: -TAMANO -SIMPLICIDAD/COMPLEJIDAD -AGREGACION/DETALLE	COMPORTAMIENTO NO INTUITIVO -RECHIZADO POR EL MODELO -PESCO INTUITIVAMENTE POR ANALISIS BASADOS EN EL MODELO -APORTACION AL CONOCIMIENTO

CONCLUSIONES

EL PROCESO DE SIMULACION ES CICLICO E INTERACTIVO

REQUIERE EL APORTE DE SU CREATIVIDAD

DEFINA REALMENTE SUS OBJETIVOS COMO EXPERIMENTADOR, LOS DEL EXPERIMENTO Y LOS DEL SISTEMA

LOS MODELOS DINAMICOS CON RETROALIMENTACION EXISTEN EN LA NATURALEZA, EN LA MENTE Y EN LAS ACCIONES DEL HOMBRE

ENCARE LA VALIDEZ POR LA ADECUABILIDAD, CONSISTENCIA, UTILIDAD Y EFECTIVIDAD, FACETAS REQUERIDAS EN TODO MODELO DINAMICO

BIBLIOGRAPHIA

- (1) CORPORATE MODELS, THE STATE OF THE ART
CHRISTOPHER G.N. Univ. of Washington, Seattle, Wash. 1970
- (2) SIMULATION IN BUSINESS AND ECONOMICS
ELIN H.D. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 1969
- (3) FROM ECONOMICS AND DECISION MODEL OF THE FIRM
RAYLICH & VERLON Parcourt Brace Jovanovich Inc. N.York '70
- (4) CLASSICAL SIMULATION EXPERIMENTS WITH MODELS OF ECONOMIC SYSTEMS
LAWLER T.H. John Wiley & Sons, Inc. New York 1971
- (5) MODEL OF ECONOMIC SYSTEMS
FACCHINI A.H. M.I.T. Press, Cambridge Mass., 1972
- (6) COMPUTER SIMULATION OF COMPETITIVE MARKET RESPONSE
ALSTUFZ A.E. M.I.T. Press, Cambridge Mass., 1967
- (7) DYNAMICS OF COMPLEXITY PRODUCTION CYCLES
KHALOUS D.L. Wright-Allen Press, Cambridge Mass., 1970
- (8) INTERDISCIPLINARY SIMULATION SYSTEMS IN HIGHER EDUCATION
ARMENTRONG & TAYLOR (eds) Cambridge Monographs on Teaching Methods
- (9) REPRESENTATIVES AND ROLL-CALLS: A COMPUTER SIMULATION OF VOTING IN THE EIGHTY-EIGHTH CONGRESS
CHANDY POLAK & SPAPIRO Bobbs-Merrill Co. Inc N.York 1969
- (10) COMPUTER SIMULATION OF VULCAN BEHAVIOR
DUTTON & STARBUCK John Wiley & Sons Inc. New York 1971
- (11) SIMULATION IN SOCIAL SCIENCE
GUSTAKOV, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs N.J. 1962
- (12) SYMPOSIUM ON SIMULATION MODELS: METHODOLOGY AND APPLICATIONS TO BEHAVIORAL SCIENCES
ROGATT & BALDESTON South-western Publishing Co, Cincinnati, Ohio, 1963
- (13) MAN-MACHINE SIMULATION MODELS
SIEGAL & WOLF Interscience Publisher, New York, 1969
- (14) SIMULATION IN INTERNATIONAL RELATIONS: DEVELOPMENTS FOR RESEARCH AND TEACHING
GUSTAKOV Prentice-Hall, Inc Englewood Cliffs N.J. 1963
- (15) CRISIS IN FOREIGN POLICY: A SIMULATION ANALYSIS
Bobbs-Merrill Company Inc. New York 1969 by HERMANN C.F.
- (16) TECHNIQUES OF TRANSPORTATION PLANNING: SYSTEMS ANALYSIS & SIMULATION MODELS
KRESGE D.T. & ROBERTS Brookings Institution, Washington D.C. 1971
- (17) INDUSTRIAL DYNAMICS
FORNBERG J.W. M.I.T. Press Cambridge Mass., 1961
- (18) THE ROLE OF MODELING IN I.E. DESIGN
ELMAGREBY S.E. The Journal of Industrial Engineering
Vol XII, No. 6 June 1968
- (19) ON THE ART OF MODELING
MORRIS W.F. Management Science, Vol 13, No. 12 Aug. 1967
- (20) FUNDAMENTALS OF OPERATIONS RESEARCH
ACKOFF & SASIENI, John Wiley & Sons, New York, 1968
- (21) EL ENFOQUE DE SISTEMAS
GEREZ & ORIJALVA Editorial Limusa, México 1978
- (22) STATISTICAL METHODS IN ENGINEERING EXPERIMENTS
BARTKE E.W., Charles E. Merrill Publishing Co. Columbus Ohio, 1966
- (23) AN EXPERIMENTAL APPLICATION OF THE DELPHI METHOD TO THE USE OF EXPERTS
DALKEY & HELMER, Management Science, Vol 9, 1963, p.458
- (24) SYSTEMS SIMULATION. THE ART AND SCIENCE
SHANNON R.E. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs N.J. '75
- (25) INTRODUCTION TO SYSTEM DYNAMICS MODELING WITH DYKAND
RICHARDSON & PUGH III, M.I.T. Press, 1981



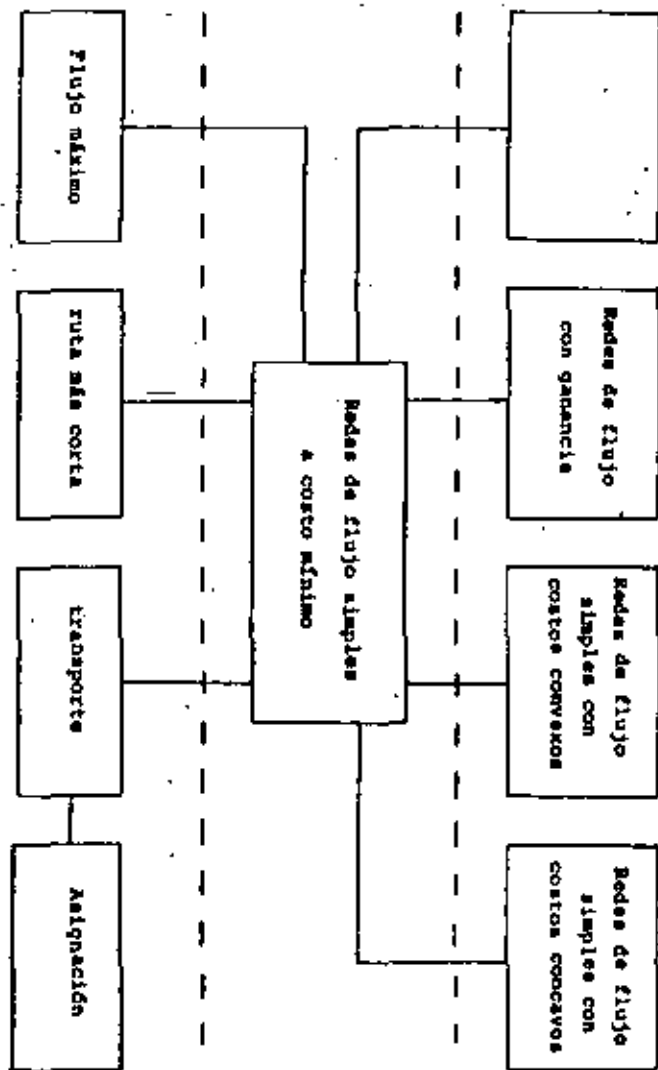
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

PROGRAMACION EN REDES DE FLUJO

Dr. Sergio Fuentes Maya

ENERO, 1983



1. Una compañía tiene cinco centros de maquinado y produce cuatro productos. Cada centro puede operar mensualmente 160 horas y producir cualquiera de esos productos con distintos tiempos unitarios de producción (en horas/producto) como se muestra:

Producto	Centro de maquinado				
	1	2	3	4	5
1	2	1.3	4	5.2	3
2	1	0.7	2.3	3	2.1
3	7	4.2	5	4	3
4	0.7	1.2	5	3	2

Los costos de producción y precio de venta son

Centro	1	2	3	4	5
Costo (\$/Hr)	10	8	7	9	11

Producto	1	2	3	4
No. máximo de ventas	100	150	125	20
Precio (\$/prod)	30	15	15	20

Se desea establecer la política de producción que maximice las utilidades.

[cota inferior, cota superior, costo]
(ganancia)

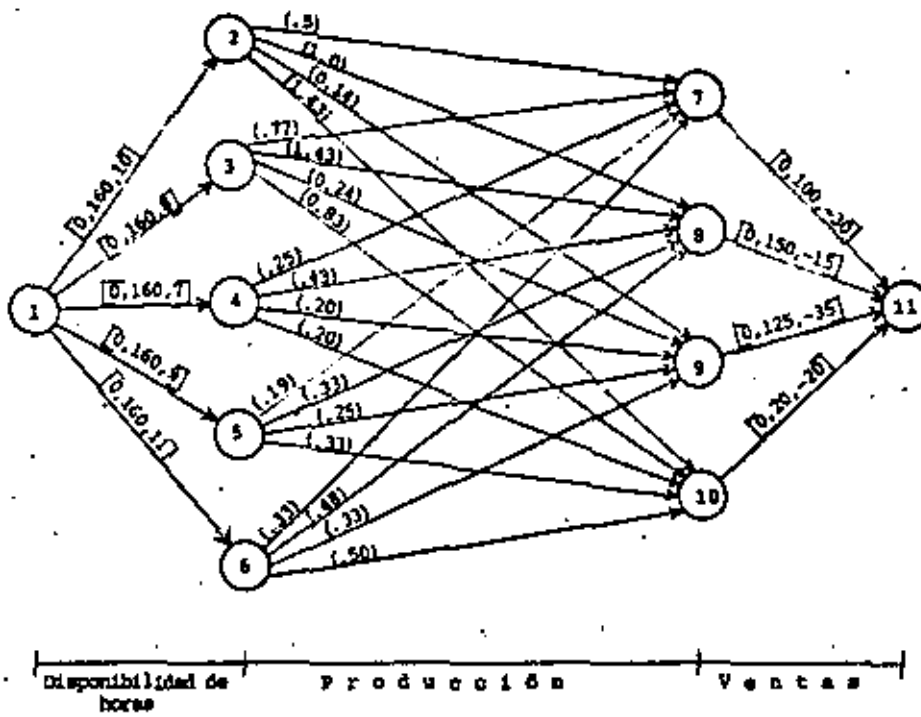


Fig. 1 Red que representa la problemática descrita.

(flujo)

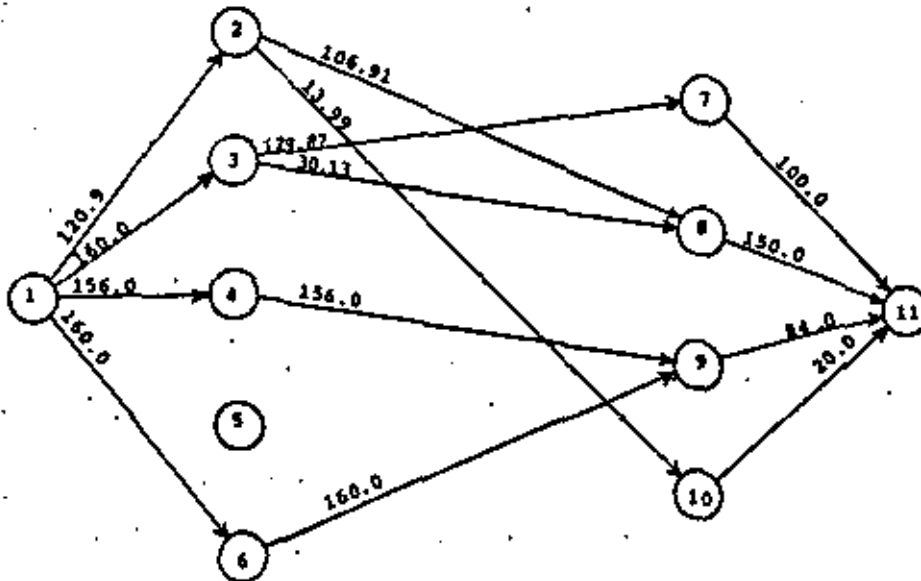


Fig. 2 Flujo óptimo en la red.

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 periodos de producción. En dichas plantas, los costos unitarios de producción y los límites de producción varían para cada periodo y son:

Planta	Costo en el periodo (pesos/prod)		Límites de producción en el periodo	
	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 periodos uno y dos, cuyo valor es:

Centro de consumo	Periodo	
	1	2
1	3	1
2	5	4

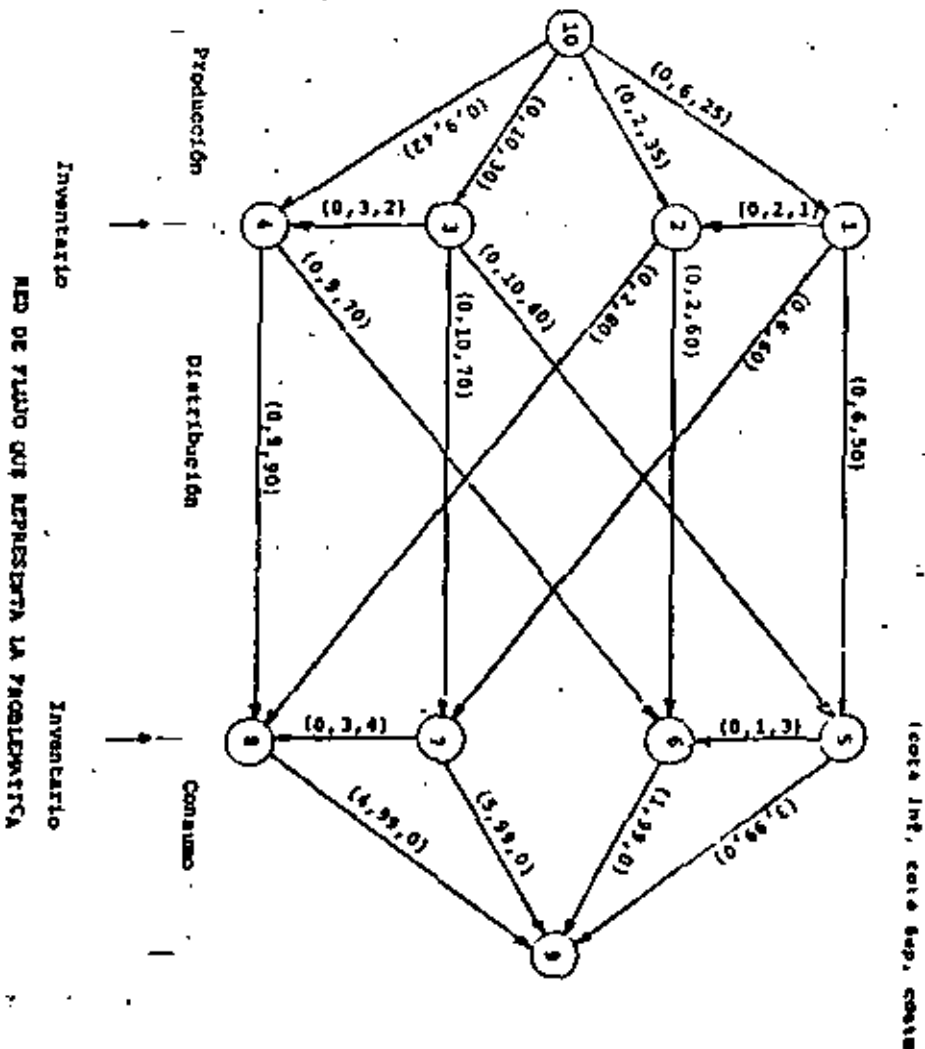
El costo de transporte (en pesos) en cada periodo es:

Planta	Periodo 1		Periodo 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 cuatro, y los límites de almacenamiento son uno y tres, respectivamente.

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.



1. 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	0.4	0.4	0.4

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:

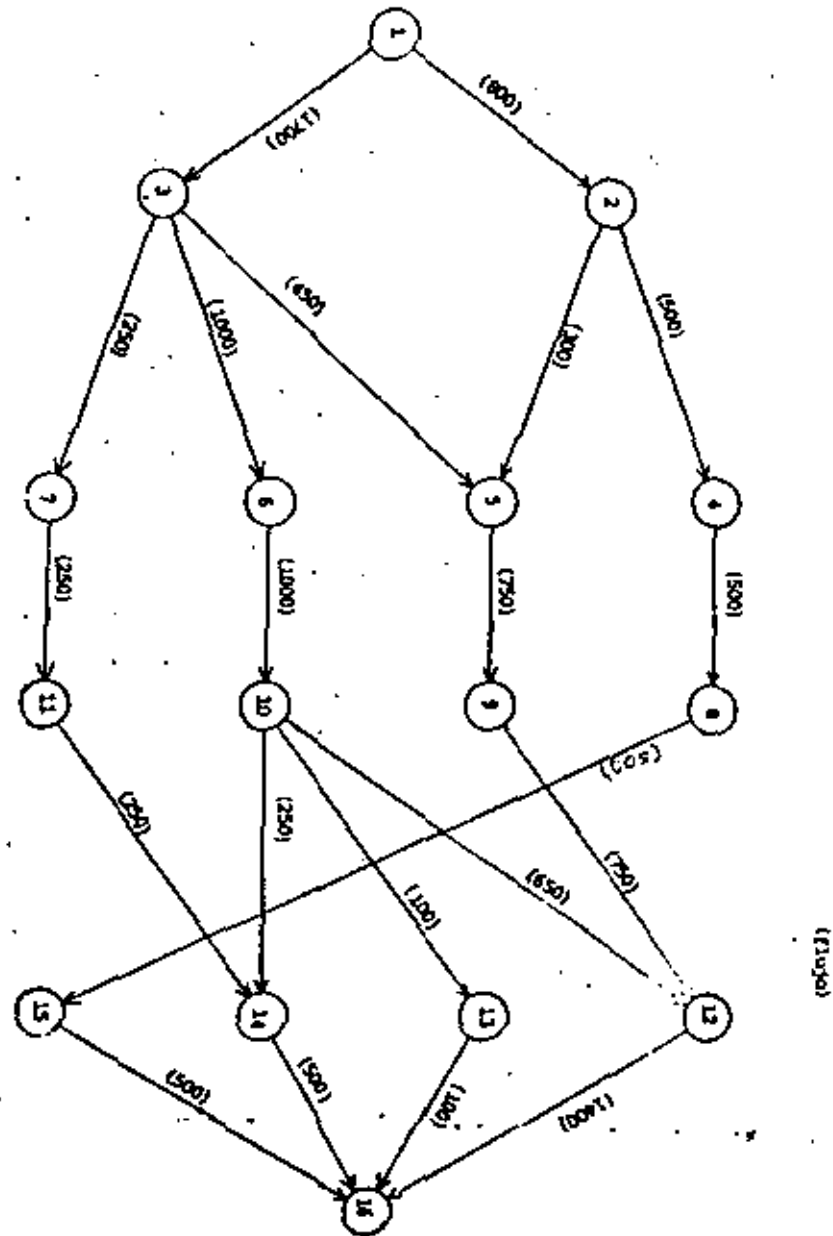
Planta	Ciudad			
	C1	C2	C3	C4
1	10	10	20	0
2	30	60	70	30
3	30	10	50	30
4	80	20	10	40

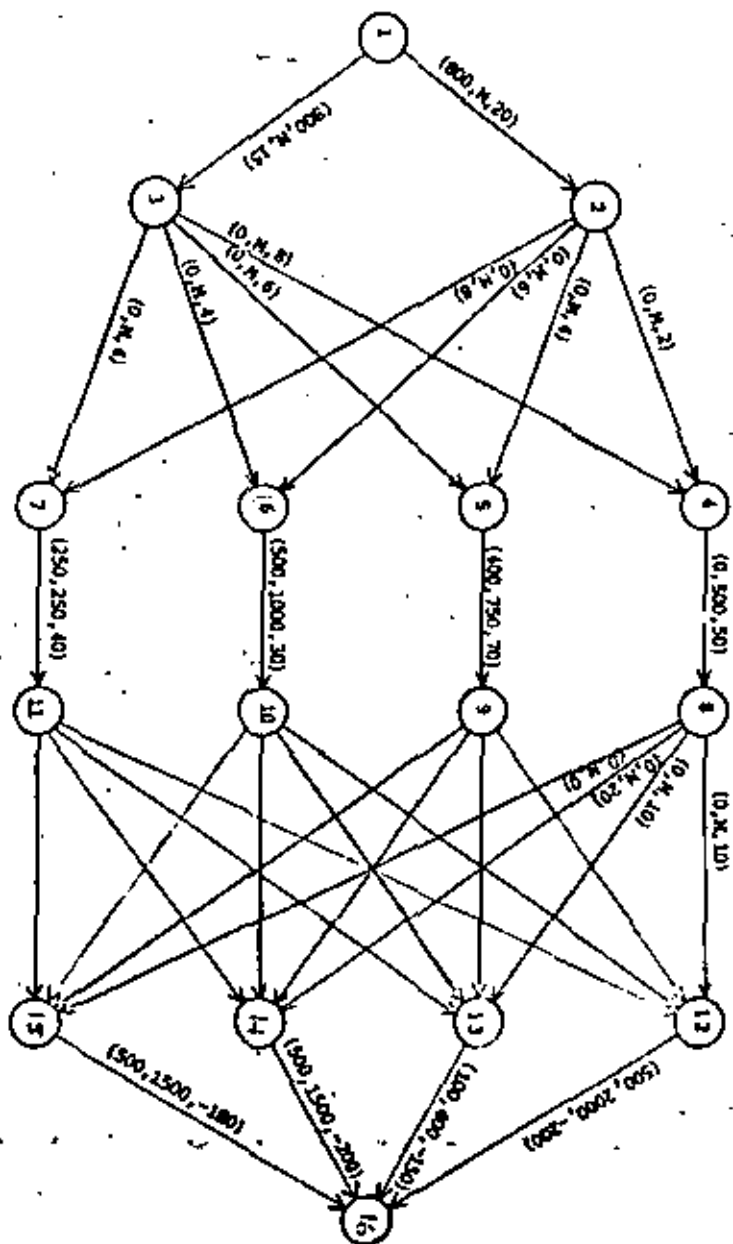
Finalmente la demanda mínima y máxima mensual de sillas y el precio de venta en cada ciudad es

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.





(costo inf., costo sup., potencia)

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.

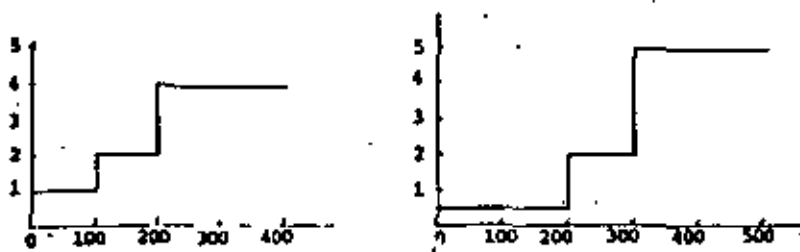


Fig. 1. Costos marginales de extracción de material.

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

Mina	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 30 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)

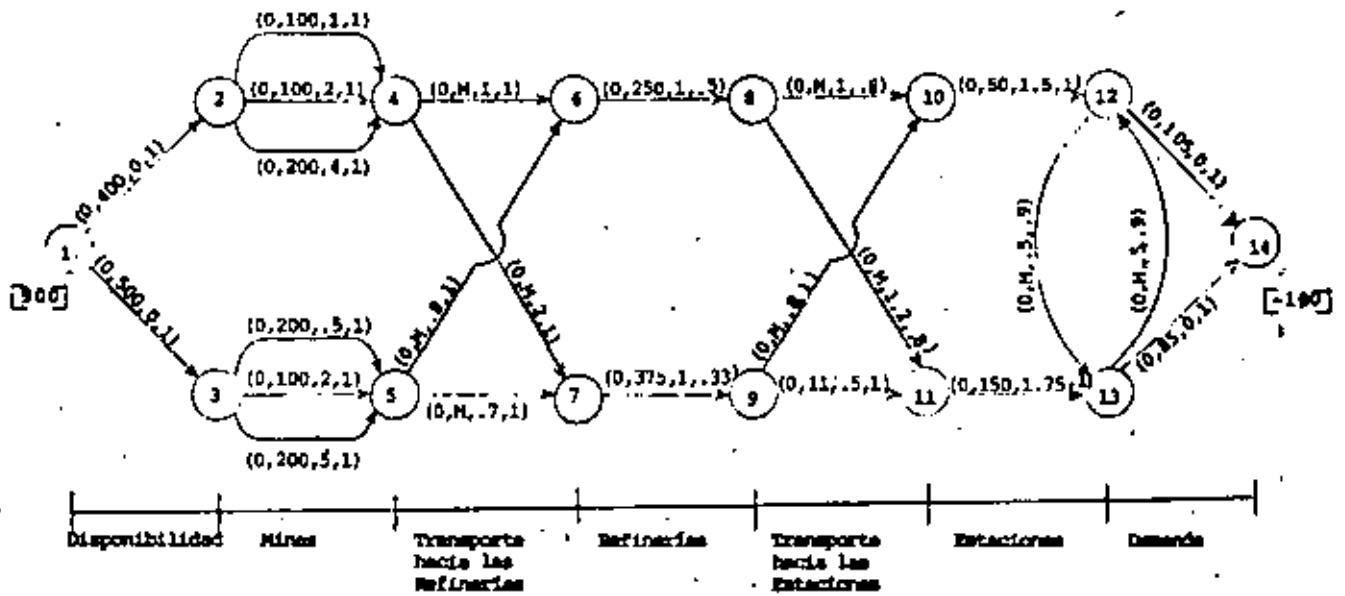
Conviene señalar que el material refinado que proviene de la refinería R1 es más puro y produce una unidad de energía por 0.8 de unidad de material refinado, mientras que sólo una unidad de energía es producido por cada unidad de material refinado que proviene de R2. El costo de transporte de las refinerías 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%.

a. Formule este problema como uno de programación lineal.

b. 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.

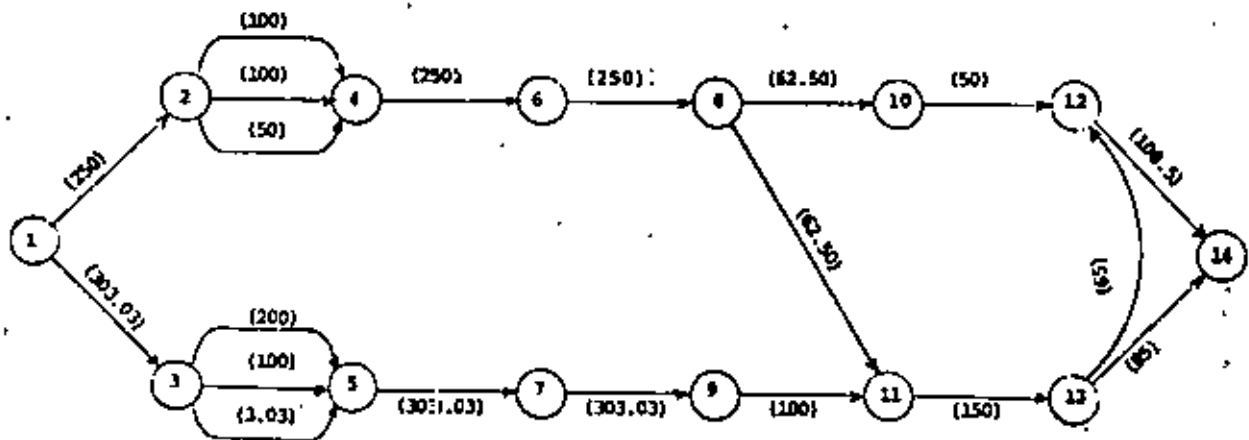


FIG. 2 SOLUCION OPTIMA DE LA RED DE FLUJO (flujo)

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 periódicamente (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.

Vaso	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

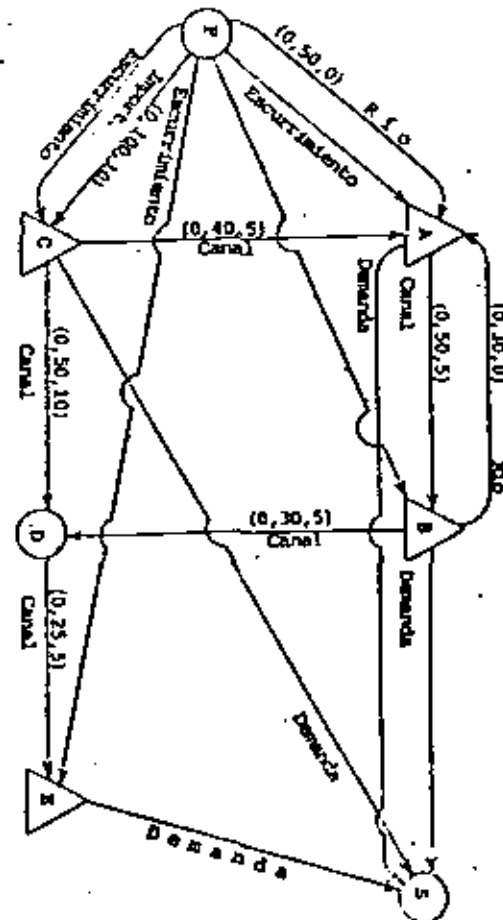
Tabla 3. Escurrimientos (en miles de m³)

Vasos	A	B	C	E
Periodo 1	80	90	30	20
Periodo 2	10	3	2	15
Periodo 3	10	10	5	8

Tabla 4. Demandas (en miles de m³)

Vasos	A	B	C	E
Periodo 1	100	80	30	45
Periodo 2	25	12	42	25
Periodo 3	20	13	51	22

FIG. 1 SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA.



(cap. min, cap. max, costo)

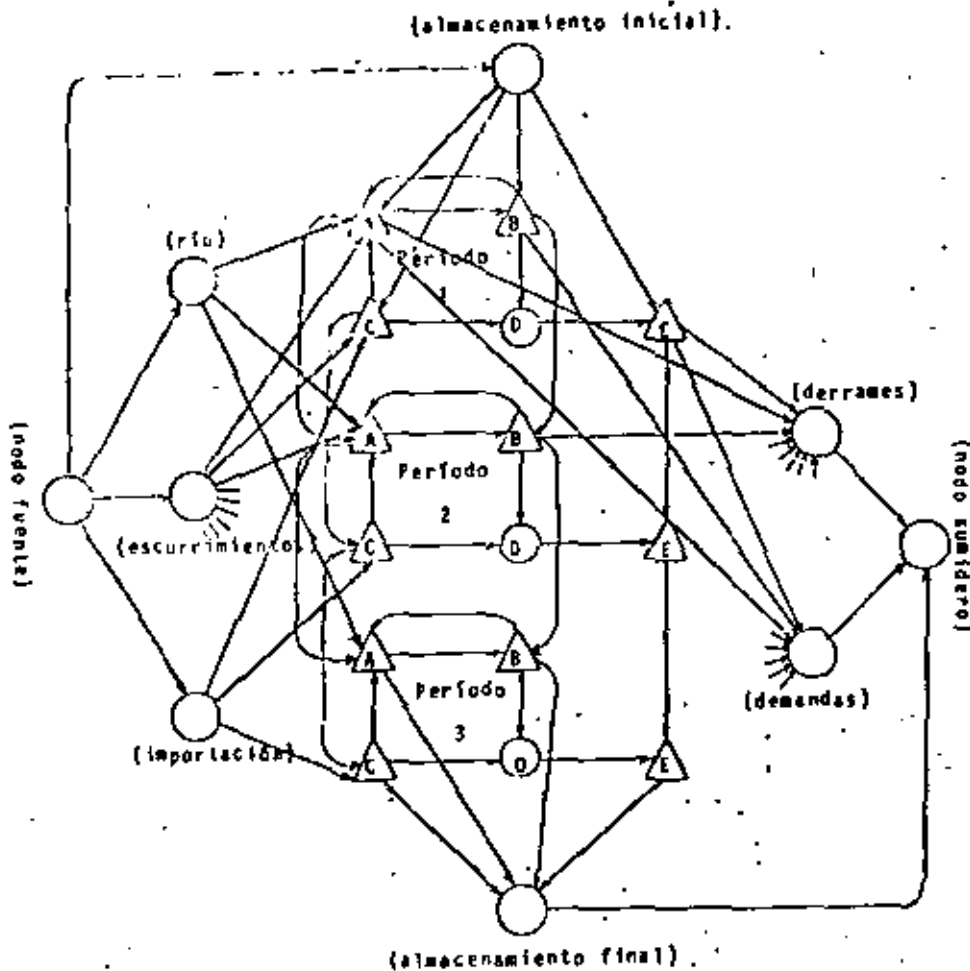


FIG. 2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIPERÍODICA

Tabla 5. Política Óptima de transporte por canales.

Canal	A-B	C-A	C-D	B-D	D-E
Período 1	21	0	0	5	5
Período 2	0	0	0	0	10
Período 3	0	0	0	0	14

Tabla 6. Política de operación Óptima de almacenaje en vasos.

Vasos	A	B	C	E
Período 1	0	36	30	0
Período 2	0	17	0	0
Período 3	0	0	0	0

Tabla 7. Política Óptima de importación de agua en el vaso C.

Períodos	1	2	3
milas 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

$$g_A(f_A) = \begin{cases} 15 f_A & 0 \leq f_A < 10 \\ -0.75f_A^2 + 30f_A - 75 & 10 \leq f_A \leq 20 \\ 225 & 20 < f_A \end{cases}$$

Un análisis similar demuestra que $g_B(x_B)$ es

$$g_B(f_B) = \begin{cases} -0.0117f_B^3 + 14 f_B & 0 \leq f_B \leq 20 \\ 186.4 & 20 < f_B \end{cases}$$

Observe que las funciones de valor esperado de la ganancia son concavas y que el problema consiste en

$$\max x = -10f_P + g_A(f_A) + g_B(f_B)$$

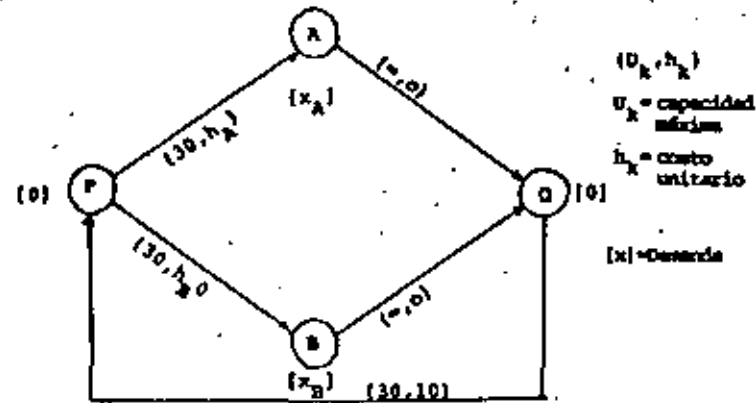
$$f_P - f_A - f_B = 0$$

$$0 \leq f_P \leq 30 \quad ; \quad 0 \leq f_A \leq 30 \quad ; \quad ; \quad 0 \leq f_B \leq 30$$

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

redes con costos convexos como se muestra en la figura, en donde $h_P(f_P) = 10f_P$, $h_A(z_A) = -g_A(x_A)$, y $h_B(z_B) = -g_B(x_B)$.

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 circula. Observe que en cada nodo el flujo que entra es igual al flujo que sale.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DIAGNOSTICO

Dr. José de Jesús Acosta Flores

ENERO, 1983

DIAGNOSTICO

A. - INTRODUCCION

Dentro del enfoque de sistemas el diagnóstico consiste en comparar la realidad con lo deseado y si son fuertes las discrepancias determinar sus causas.

Presento a continuación lo que escribió Victor Izarte (1) en sus apuntes de clase del Dr. Felipe Ochoa del Método de los sistemas:

"Diagnosticar es determinar el estado del sistema actual, es plantear causas por las cuales se encuentra así y definir las relaciones que guardan las partes del mismo.

"Detectados los problemas, se identifican en esta fase la o las cadenas causa-efecto, llegando hasta sus últimas raíces causa-origen, no precisamente porque se consideren a éstas como los males del sistema a combatir, sino porque ello marca las limitaciones o alcances de la siguiente fase.

"La creatividad del generalista vuelve a ser un elemento fundamental para la ejecución de esta fase. Un ejemplo sencillo pero objetivo de la aplicación de la creatividad como herramienta en el diagnóstico, lo constituye el siguiente caso: El problema del gran número de enfermos de disentería en el Río Bravo. Del análisis del problema se obtiene como resultado un altísimo índice de enfermos de disentería en las diferentes clínicas, gran ausencia a las escuelas y sitios de trabajo, etc. De la evaluación ex-post, obviamente se concluye que el sistema no está marchando adecuadamente. El Diagnóstico tiene como objeto desarrollar la cadena causa-efecto para que posteriormente se identifique una opción de corrección o mejoramiento para cada uno de los eslabones de la cadena (Ver figura).

"Una primera visión del problema llevaría a la conclusión de que solo un especialista en la materia podría resolverlo, sin embargo, al observar más detalladamente la construcción de la cadena causa-efecto puede distinguirse -- que no es necesaria la presencia de dicho especialista, sino

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 METALURGICA 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 in da ga h asta l as c aus as q ue c on s i d e r a l as ú l t i m as ."

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

1. ENFOQUE DE DINAMICA DE SISTEMAS.

1.1 Problemas y sistemas de retroalimentación.

La parte central de un estudio de Dinámica de Sistemas no es un sistema, sino un problema. Los problemas tratados desde la perspectiva de Dinámica de Sistemas tienen al menos dos rasgos en común: son dinámicos y surgen en sistemas de retroalimentación.

Un problema es dinámico si involucra cantidades que cambian en el tiempo. A continuación se analizan con todo detalle los sistemas de retroalimentación.

La retroalimentación es la transmisión y regreso de la información. Por ejemplo, un sistema de calefacción produce calor en una habitación. Un termostato conectado al sistema, regresa información sobre la temperatura del cuarto al sistema, encendiéndolo o apagándolo y por tanto, controlando esta temperatura. Juntos el termostato y el sistema de calefacción forman un sistema de retroalimentación.

Un circuito de retroalimentación es una sucesión cerrada de causas y efectos, una ruta cerrada de acciones e información. Por ejemplo, un sistema de control de inventarios. Los envíos bajan el inventario, cayendo a algún nivel deseado, alguien en el almacén coloca pedidos que producen la subida del inventario. La información (el inventario actual) se transmite (al departamento de pedidos y después a los productores) y eventualmente regresa (en la forma de artículos que se reciben en el almacén). Ver la figura No. 1.1.

Un sistema de retroalimentación es un conjunto interconectado de circuitos de retroalimentación.

Tradicionalmente, cuando se descubre un problema, se reflexiona sobre él, se desarrolla un plan y se actúa acorde con el plan. Usualmente se olvida el hecho que nuestra acción altera el estado del sistema, como se sugiere -

por la línea punteada en la figura 1.3, dando como resultado una nueva comprensión del problema o quizá un conjunto nuevo de problemas que deben atacarse. — Considere por ejemplo el problema de administrar un área pública para recreación como un parque natural, un lago, o una montaña para ascalar. Mientras más y más personas descubren las delicias de acampar y caminar en tales áreas, la administración tiene un dilema: cómo proteger y preservar el carácter y belleza natural de un área y al mismo tiempo hacerla disponible al público para que la goce. Alguien puede ver la situación como en la figura No. 1.3. Esta visión carece de la perspectiva de retroalimentación, sugiere que una política razonable para minimizar el daño ambiental y preservar la calidad de las experiencias de los visitantes es tratar de aumentar el área de contacto y los servicios proporcionados por el parque. Animar la utilización de veredas poco usadas, hacer más veredas, construir más áreas para acampar con baño e instalaciones para recoger basura, proveer instalaciones educativas como centros apoyados por guardabosques experimentados,

Aunque algunas de tales políticas pueden ser necesarias y deseables, la perspectiva que las generó es inadecuada. Se han ignorado los efectos de retroalimentación. Por ejemplo, el valor de la experiencia vivida tendrá un efecto sobre el número de visitantes, como se muestra en la figura No. 1.4. — La conclusión de aumentar servicios ya no es tan clara. Un aumento en los servicios eleva el valor de la experiencia, lo que incrementa los visitantes por año, acrecentando el amontonamiento que amplía el daño ambiental y disminuye el valor de la experiencia vivida. Las implicaciones a largo plazo de la política de ampliar servicios ya no son tan evidentes como lo fueron en la figura 1.3

1.2 El comportamiento de sistemas de retroalimentación.

Los circuitos de retroalimentación se dividen en dos categorías: los positivos y los negativos. Los negativos están buscando una meta y tratan de perseguir cualquier desviación de ella. Se muestran tres ejemplos en la figura 1.5. — Los positivos amplifican las desviaciones produciendo el crecimiento. Se presentan tres ejemplos en la figura 1.6.

La distinción entre los circuitos de retroalimentación positivos y negativos se captura en la historia del cobertor eléctrico del conectado de la figura 1.7.

Los problemas reales están formados por circuitos positivos y negativos acoplados; sin embargo, se ha observado que se responde a estos problemas - como si fueran sistemas negativos de retroalimentación muy simplificados. Algunos ejemplos son:

Problema	Respuesta
Cosechas dañadas por plaga de insectos	regar con insecticida
Congestionamiento en el tráfico	construir más carreteras
Crimen	Contratar policías
Aumento en los costos	✓ Fijar los precios

Los problemas reales a menudo son tan complicados que comprender su comportamiento y predecir las respuestas a diversas políticas es imposible sin un modelo formal. Dinámica de Sistemas procura proveer la comprensión de sistemas complicados de retroalimentación a fin de diseñar políticas que funcionen para mejorar el comportamiento del sistema.

1.3 Enfoque de Dinámica de Sistemas

Se parte de que el "comportamiento dinámico es una consecuencia de las estructuras de retroalimentación del sistema" y por tanto se busca dentro de él las causas de su comportamiento problema y no se piensan que sean agentes externos los responsables.

En la figura 1.0 se presentan las etapas para atacar un problema desde esta perspectiva, comenzando y terminando con la comprensión de un sistema y sus problemas. Cada una de estas etapas se verá con mayor detalle en las secciones siguientes.

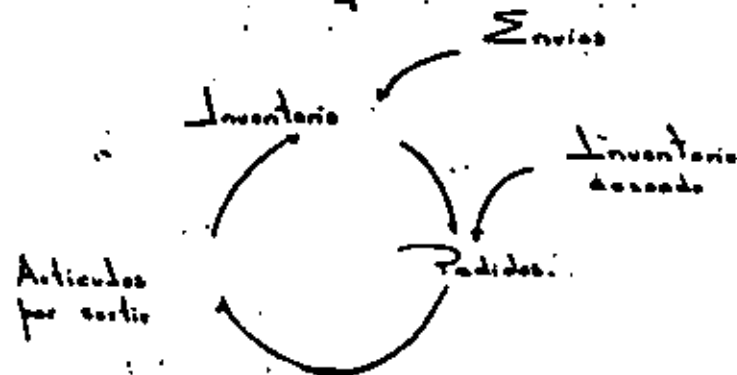


Figura N° 1.1.

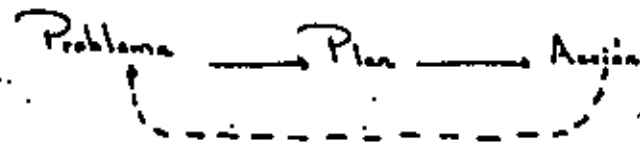


Figura N° 1.2

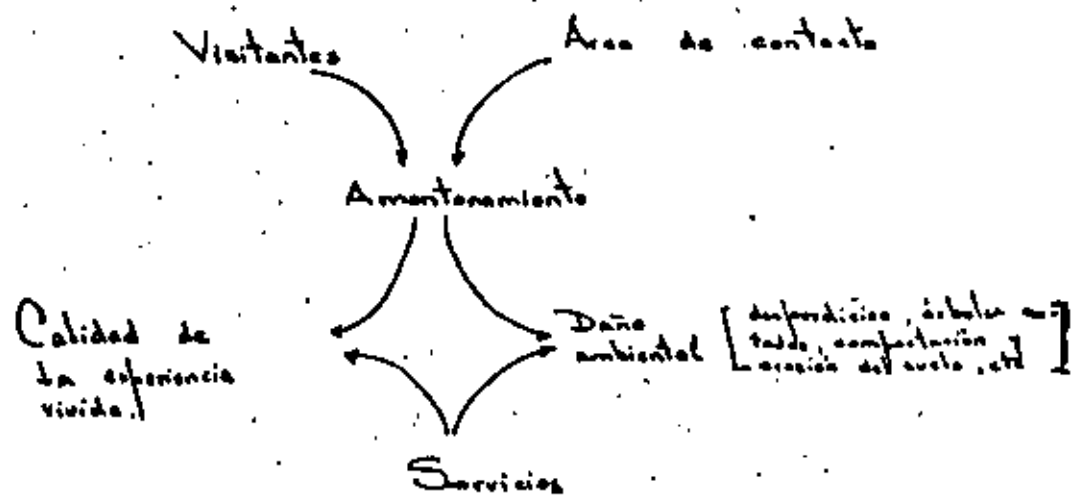


Figura N° 1.3

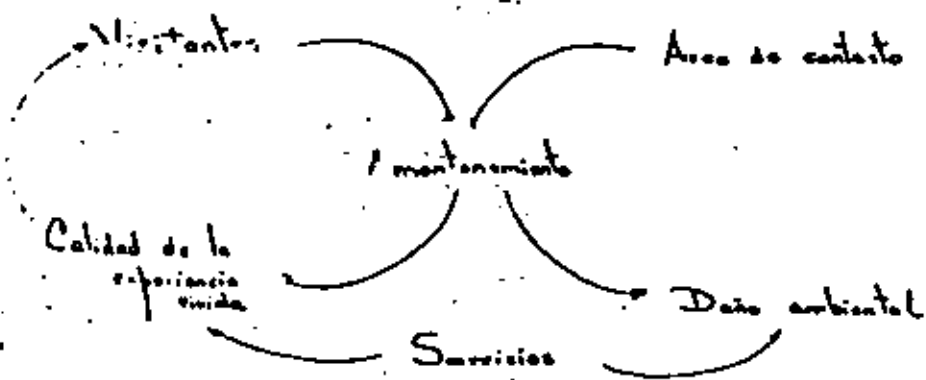
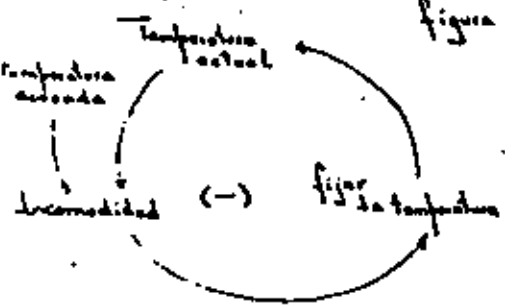
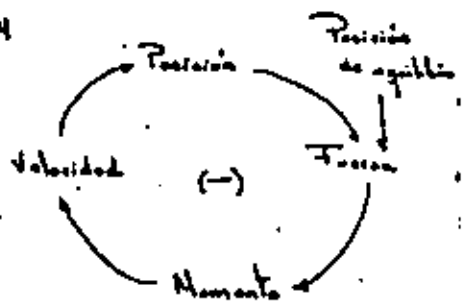


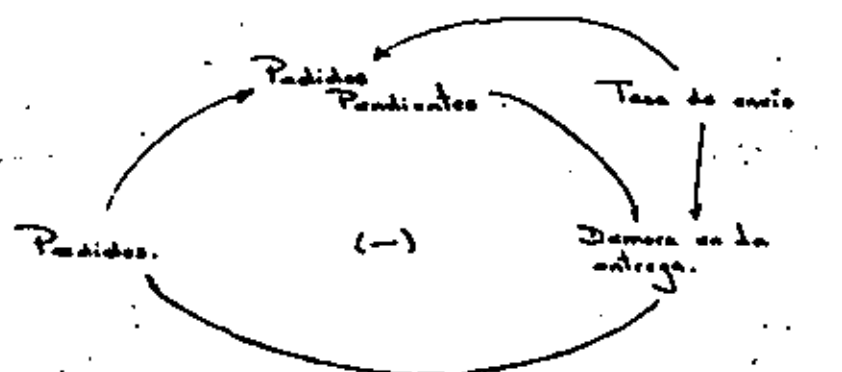
figura N° 1.4



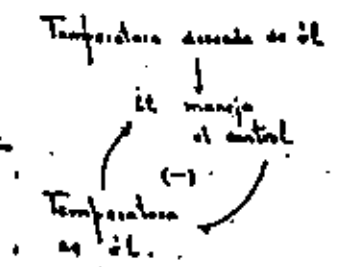
A.- Control automático



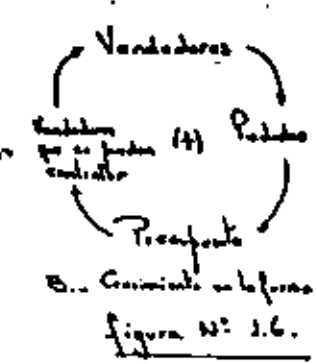
B.- Péndulo



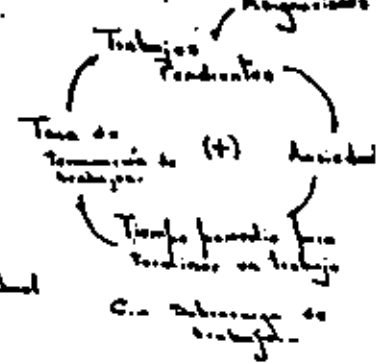
C.- Demora en la entrega de un producto.
figura No 1.5



A.- Conversión adecuada

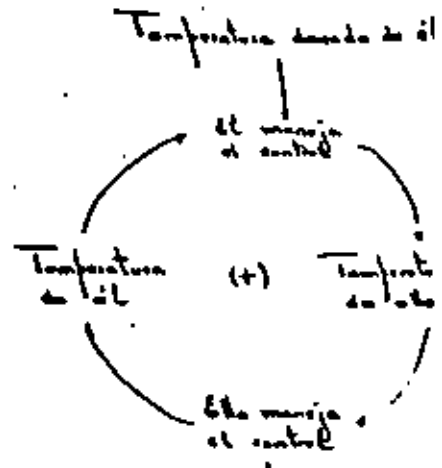


B.- Crecimiento en la forma total
figura N° 1.6.



B.- Conversión adecuada

figura N° 1.7.



B.- Conversión adecuada

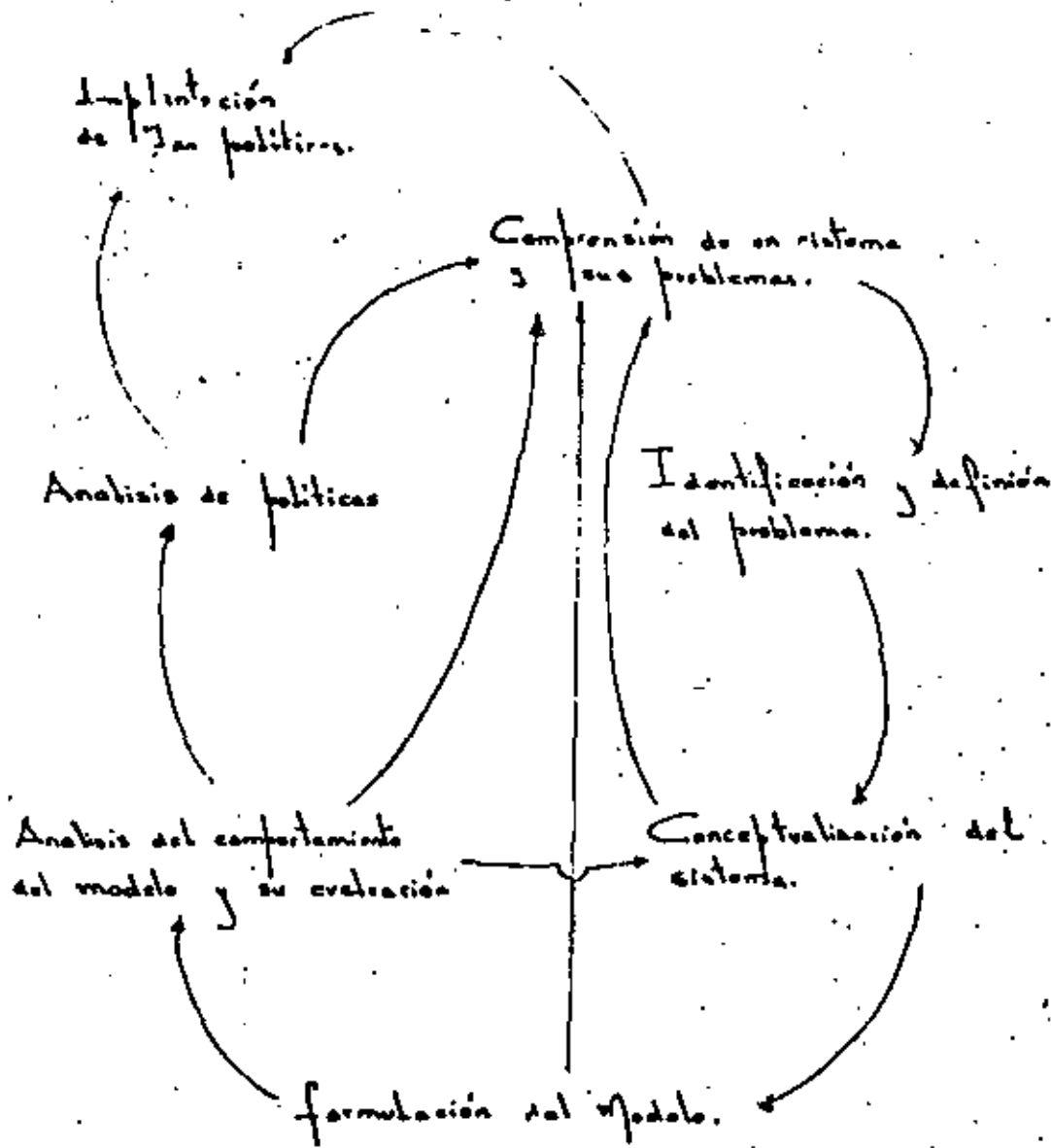


Figura No. 1.8

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 3.1 resume cómo se ajustan estas etapas, así como las etapas cuantitativas posteriores del proceso de modelado.

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

3.1. 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 conocimiento 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.

3.2. 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 se necesitan 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 definen:



Una liga causal de A a B es positiva 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 demanda y la decisión de servir, luego se trata de una liga causal positiva. Al servir se le suma al nivel del vino. Esto 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 impar 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 enfocarse 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.

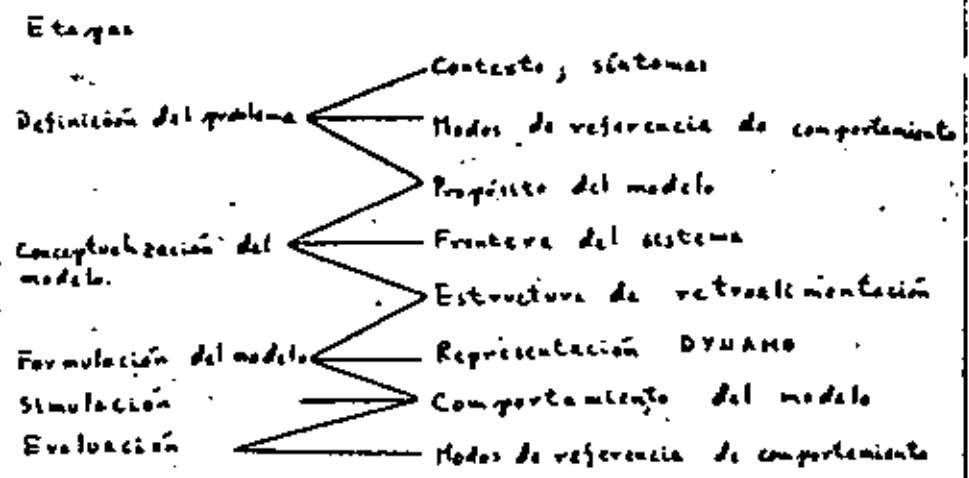
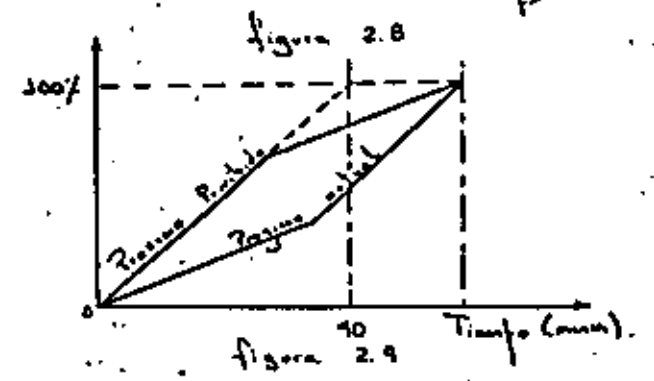
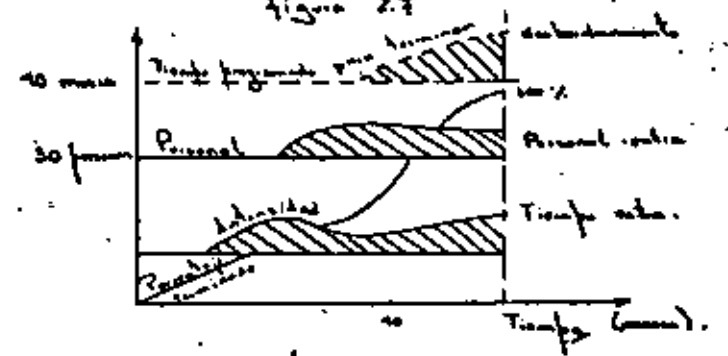
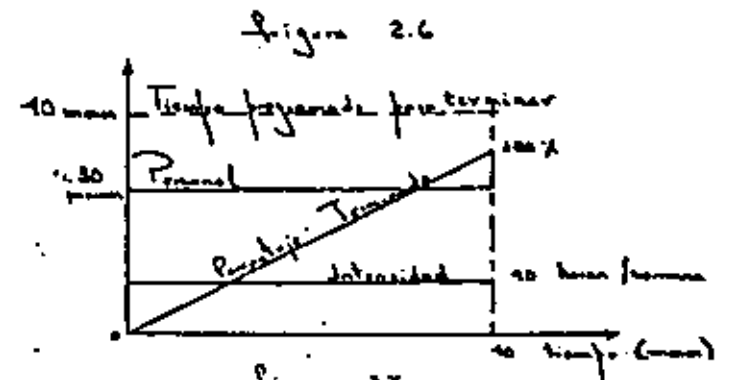
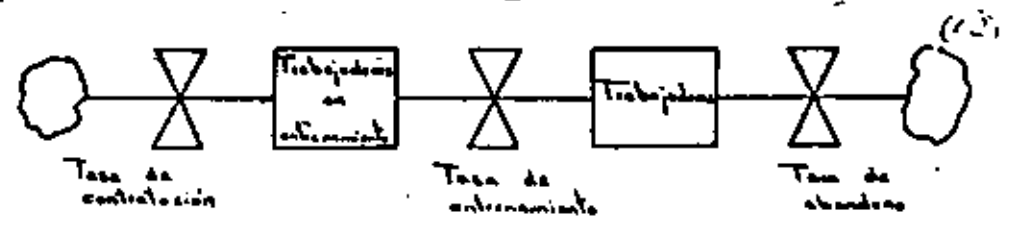
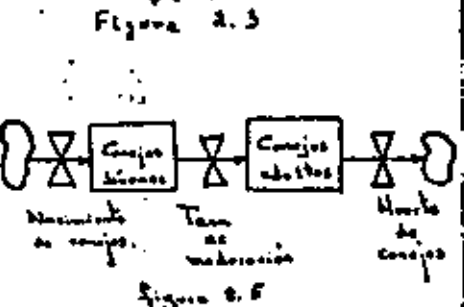
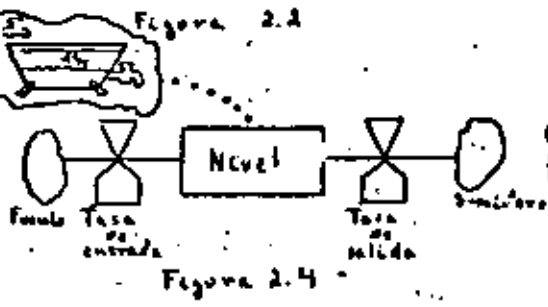
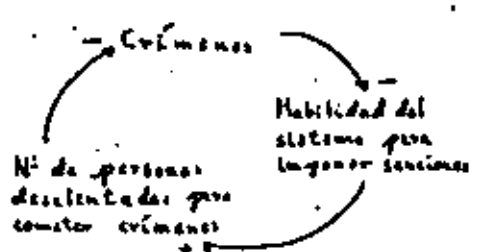
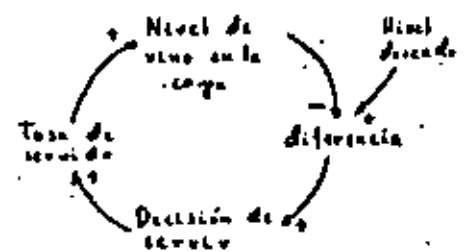


Figura 2.1: Etapas en el proceso de modelado en Dinámica de sistemas.



3.- UN EJEMPLO

Vemos 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 aserciones 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 despedir 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.

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.

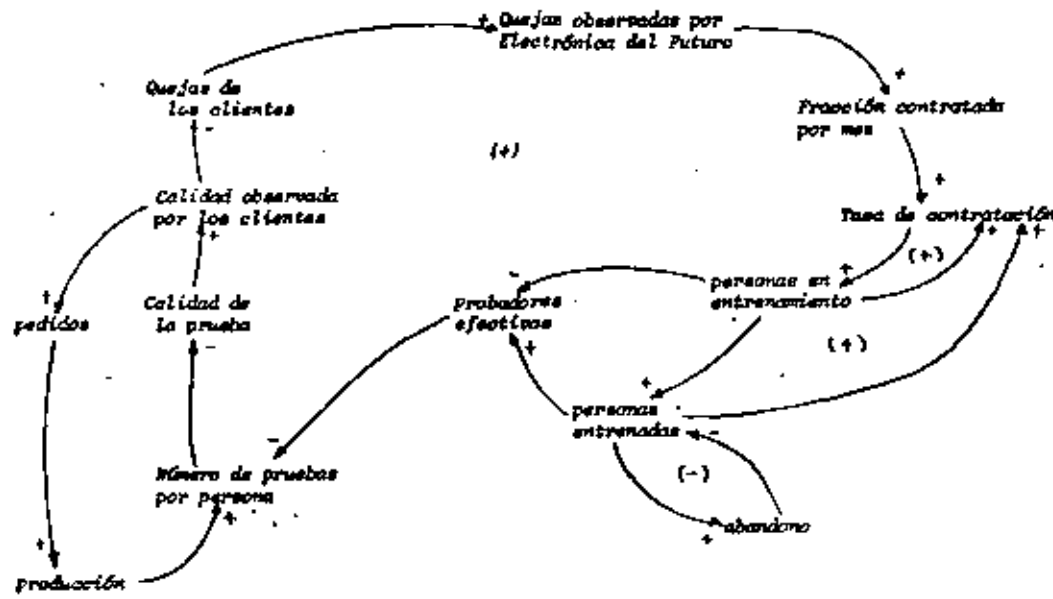
Respuesta.

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.

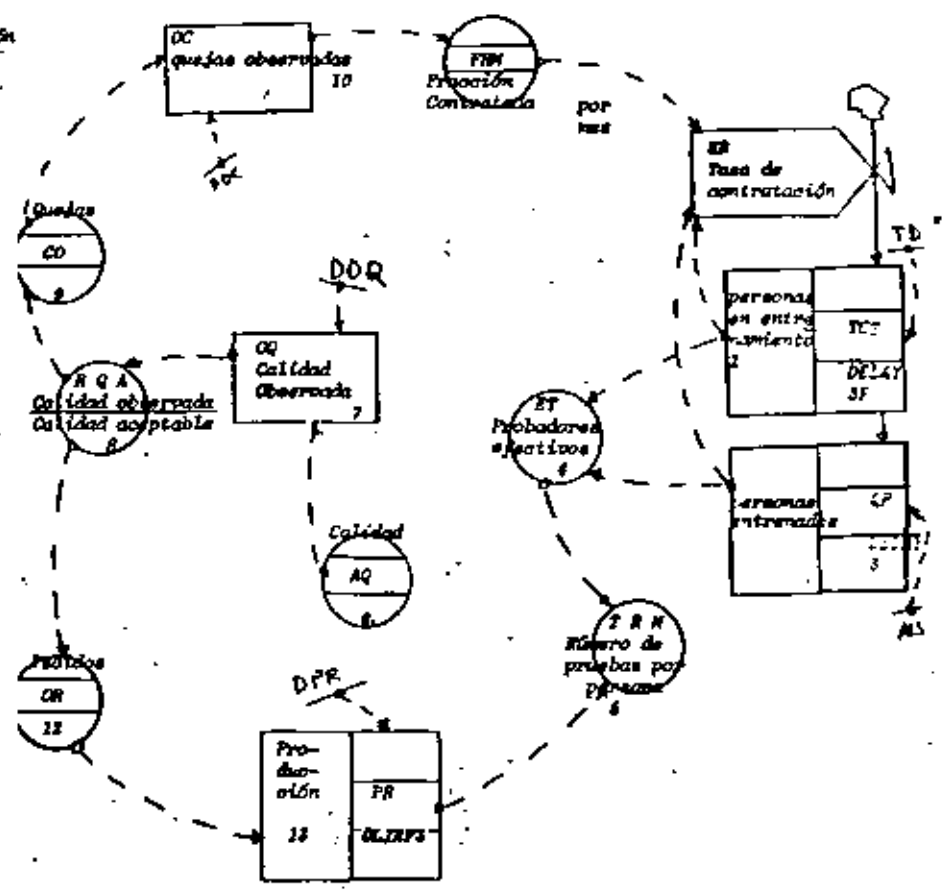
b).- Desarrolle un diagrama causal basado en el análisis anterior.

Respuesta.



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

Respuesta.



MODELO DE LA CIA ELECTRONICA FUTURO
4 CUM LA NUOVE POLLIA

NOTE HR=20767
NOTE HR-TASA DE CONTRATACION (HOMBRES/MES)
NOTE FM=EFICACIA CONTRATADA

NOTE T=PROBADORES EN ENTRENAMIENTO (HOMBRES)
NOTE T=PROBADORES (HOMBRES)

NOTE TCT=DELAY 3P (HR, JK, IN, TT, K)
NOTE TCT=PROBADORES TERMINANDO ENTRENAMIENTO
NOTE ID=IDIAZADO POR ENTRENAMIENTO

NOTE OR=XL=DELAYR (TCT, JK, AL, ST, K)
NOTE ALS=36

NOTE OR-TASA DE DEFECTOS
NOTE ALS=PROMEDIO DE TIEMPO EN SERVICIO

NOTE FT=K=7, K=.50TT
NOTE TRM=PR=K/BI

NOTE PROBADORES EFECTIVOS
NOTE TASA DE MUESTREO POR HOMBRE=TRM
NOTE T=TAJA DE PRODUCCION

NOTE AQ=K=TABLE (TOVI, TRM, K, SO, ZOO, ZS)
NOTE TOVI=1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10

NOTE AQ=CALIDAD ACTUAL
NOTE TOVI=TAJLA DE CALIDAD VS. MUESTREO

NOTE DO=K=SMOOTH (AQ, K, DOO)
NOTE DOO=0
NOTE DO=1

NOTE DO=CALIDAD OBSERVADA
NOTE AQ=CALIDAD ACTUAL
NOTE DOO=RETRAZO EN CALIDAD OBSERVADA

NOTE ROA=K=DOO, K/DA
NOTE DOO=1
NOTE ROA=RADIO DE CALIDAD A ACEPTABLES
NOTE DOO=CALIDAD ACEPTABLE

NOTE CO=K=TABLE (COO, ROA, K, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE COO=2, 2/3, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10

NOTE CO=QUEJAS
NOTE UL=QUEJAS OBSERVADAS

NOTE DO=K=SMOOTH (CO, K, DOO)
NOTE DOO=2
NOTE DO=CO

NOTE CO=QUEJAS
NOTE UL=QUEJAS OBSERVADAS

NOTE DOO=RETRAZO EN QUEJAS OBSERVADAS
NOTE DPR=RETRAZO POR PRODUCCION
NOTE DPR=STEP (DPR, STT)

NOTE IN=K=TABLE (IN, K, IN, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE IN=0, 500, 1000, 1500, 2000

NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

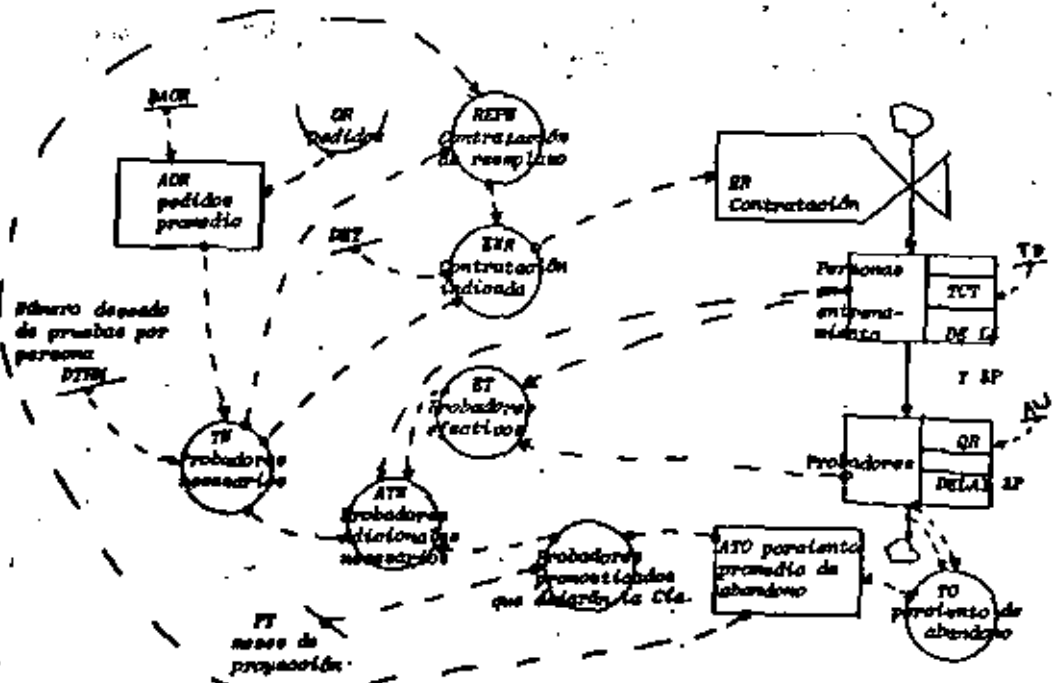
NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

NOTE OVI=K=TABLE (OVI, K, OVI, S, 1, 2, 3, 4, 5)
NOTE OVI=0, 500, 1000, 1500, 2000

a).- Experimentos 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 dinámicas resumen los cambios que reflejan la nueva política.



6.- REFERENCIAS

- 1.- Edrta Ramirez Victor. "Método de los Sistemas". Apuntes de Clase. División de Estudios de Posgrado: Fac. de Ing. U.E.A.N. 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

IMPLANTACION Y CONTROL DE SOLUCIONES

M. en I. Arturo Fuentes Zenón

ENERO, 1983

Control

INTRODUCCION

Planear es tomar decisiones. El control es evaluar las decisiones, incluyendo las de no hacer nada, una vez que se han tomado. El proceso de control involucra cuatro pasos:

1. Pronosticar los resultados de las decisiones en la forma de medidas de rendimiento.
2. Reunir la información sobre el rendimiento real.
3. Comparar el rendimiento real con el pronosticado.
4. Cuando se detecta una decisión deficiente, corregir el procedimiento que la produjo y corregir sus consecuencias hasta donde sea posible.

Todas las decisiones, sea que se tomen en la planeación o en las operaciones normales, deben estar controladas. Se puede aplicar un solo sistema de control a todas las decisiones, cualquiera que sea su origen. Por tanto, cuando los planificadores proporcionan un sistema para controlar su plan, lo hacen también para las decisiones normales de operación.

Debe quedar claro que los sistemas de control, de toma de decisiones y de información a los ejecutivos, están estrechamente relacionados entre sí y simplemente son subsistemas de lo que pudiera llamarse el *sistema de administración*. Estos tres subsistemas no se deben considerar por separado, ni mucho menos diseñarlos por separado. No obstante, con frecuencia son separables. Cuando se tratan separadamente, la dificultad para coordinarlos es casi insuperable. Además, y quizás esto sea más importante, la calidad del sistema sufre considerablemente.

De los tres, es más probable que se diseñe un sistema de información a la administración (MIS), independientemente de los otros dos subsistemas. Por tanto, consideremos aquellos primero; así podremos combinarlos con sistemas de decisiones (como se señaló en el capítulo 5), y de control, cuyos cuatro aspectos se han mencionado anteriormente.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN A LA ADMINISTRACIÓN

Es evidente que cada vez es mayor la preocupación de los directivos y de los científicos de la administración sobre los sistemas de información

a los altos ejecutivos. Efectivamente, algunos ven en dichos sistemas una panacea para todo tipo de problemas de las organizaciones. Es comprensible el entusiasmo por dichos sistemas: compromete a los ejecutivos y a los diseñadores de sistemas en una relación romántica con el instrumento más fascinante de nuestro tiempo, la computadora electrónica, sin amenazar el puesto del director. El entusiasmo es, pues, comprensible; no obstante, no lo son algunos de los excesos a que ha dado lugar.

Contrariamente a la impresión que produce la bibliografía existente, cada vez más abundante en este campo, en realidad se encuentran operando relativamente pocos sistemas de información, por computadoras, a los altos ejecutivos. Entre los que sí están trabajando, muchos no han satisfecho las esperanzas que se les tenían depositadas, y otros han sido fracasos rotundos. Estos fracasos y semifrascos se podrían haber evitado si se hubieran eliminado ciertas suposiciones falsas (y generalmente implícitas) sobre las que se basan.

Parece que hay cinco suposiciones comunes y erróneas respecto al diseño de la mayor parte de los sistemas de información administrativa. A continuación tratamos cada una de ellas.

Los ejecutivos necesitan urgentemente más información pertinente

La mayoría de los sistemas de información administrativa se diseñan suponiendo que una deficiencia importante (si no es que la más urgente) con la cual batallan los directivos es la *falta de información pertinente*. No negamos que la mayor parte de los ejecutivos carece de una cantidad considerable de información que deberían tener, pero sí niego que ésta sea la deficiencia más importante. Me parece que sufren mucho más de una *sobreabundancia de información no pertinente*.

Esto no es un juego de palabras. El cambio del interés de los sistemas que proporcionan información pertinente a los que eliminan la información no pertinente, trae consecuencias importantes. Si la preocupación es el suministro de la información pertinente, se prestará atención casi exclusivamente a la obtención, almacenamiento, recuperación y procesamiento de datos; por tanto, se hace énfasis en la construcción de bancos de datos, así como su codificación, tabulación, archivo, recuperación, etc. El ideal que ha surgido de esta orientación es de un fondo infinito de datos en el cual el ejecutivo puede zambullirse y sacar cualquier información que desca. El hecho es que probablemente sea un océano en el cual se ahogue.

Por otra parte, si uno ve que el problema de información del ejecutivo es primordial, pero no exclusivamente, la sobreabundancia de datos que no vienen al caso, entonces las dos funciones más importantes de un sistema semejante son el *filtrado* (o evaluación) y la *condensación* de la información. La bibliografía sobre los sistemas informativos para la gerencia raras veces se refiere a estas funciones, y mucho menos analiza la forma de llevarlas al cabo.

La mayoría de los directivos recibe muchos más datos (aunque no sea información importante) de los que puede absorber, aunque pasaran un día entero leyendo todo. Esto es, ya sufren sobrecarga de información.

Deben pasar mucho tiempo separando lo pertinente de lo que no es y buscando en los documentos las migajas que necesitan. Por ejemplo, el autor recibe un promedio de material de lectura no solicitado, por semana, cuya lectura tardaría 43 horas. El material solicitado generalmente es la mitad de eso.

Hemos visto informes diarios del estado de existencias en tamaño aproximado de 600 páginas de impresión de computadora que circula diariamente por los escritorios de los distintos gerentes. También hemos visto solicitudes para gastos mayores de capital que vienen en forma de libro, varios de los cuales se distribuyen cada semana a los directores. No es raro que muchos reciban un promedio de un periódico o más por día. Y se podría continuar así indefinidamente.

A menos que se reduzca la sobrecarga de información a la que están sujetos los ejecutivos, no se puede esperar que se use efectivamente cualquier información adicional disponible gracias a un sistema administrativo para tal efecto.

Hasta los documentos pertinentes generalmente son demasiado largos. La mayoría de los documentos se pueden condensar considerablemente sin pérdida de contenido. Quizá pueda presentar mejor este punto, describiendo brevemente un experimento que el autor ha realizado con algunos de sus colegas, con bibliografía de investigación de operaciones hace pocos años. Por medio de un panel de expertos bien conocidos, seleccionamos 4 artículos recientes que todos los expertos consideraron sobresalientes, y cuatro artículos que los mismos consideraron inferiores al promedio. Se pidió a los autores de los ocho artículos que prepararan exámenes "objetivos" de 30 minutos de duración, más las respuestas. Estos se iban a aplicar a un grupo de graduados universitarios, a quienes se les asignó como tarea leer los artículos. (No se informó a los autores acerca del experimento.) Luego se pidió a varios escritores experimentados que redujeran cada artículo a las dos terceras partes y a una tercera parte del tamaño original solamente eliminando palabras. También prepararon un breve extracto de cada artículo. Las personas que hicieron la condensación no vieron las pruebas que se iban a aplicar.

Entonces se seleccionó otro grupo de graduados que no había leído los artículos con anterioridad. A cada uno se le dio una selección al azar de cuatro artículos, cada uno de los cuales estaba en una de sus cuatro versiones: 100%, 67%, 33%, o extracto. Cada versión de cada artículo fue leída por dos estudiantes. A todos se les aplicó la misma prueba. Después se compararon las calificaciones promedio en los exámenes.

Para los artículos sobresalientes no había una diferencia apreciable entre las calificaciones promedio de las pruebas para las versiones del 100%, 67% y 33%, pero había una disminución considerable en las calificaciones promedio de los exámenes para aquellos que sólo habían leído el extracto. Para los artículos inferiores al promedio, no había diferencia en las calificaciones promedio en las pruebas entre aquellos que habían leído las versiones del 100%, 67% y 33%, pero había un aumento considerable en las calificaciones promedio en los exámenes para aquellos que habían leído el extracto.

Oblviamente, la muestra usada era demasiado pequeña para elaborar conclusiones generales, pero los resultados indican claramente hasta qué grado se pueden condensar artículos bien escritos sin perder información. La conclusión obvia sobre los que estaban mal escritos es que su tamaño óptimo es cero.

Por tanto, parece claro que la condensación y el filtrado, desarrollados mecánicamente o manualmente, deben ser parte esencial de un sistema de información administrativa; y que un sistema de este tipo debe ser capaz de manejar toda la información que recibe un director, tanto la no solicitada como la solicitada.

El ejecutivo necesita la información que desea

La mayoría de quienes hacen los diseños de estos sistemas para la administración "determinan" cuál es la información que se necesita preguntando a los ejecutivos cuál sería la información que les gustaría tener. Se basan en la suposición de que los administradores saben qué información necesitan y desean.

Para que un ejecutivo pueda saber cuál es la información que necesita, debe tener conciencia clara de cada tipo de decisión que debe tomar y tener un modelo adecuado de cada uno de ellos. Rara vez se satisfacen estas condiciones. La mayoría de los directores tienen alguna idea de, por lo menos, algunos de los tipos de decisiones que deben tomar, pero probablemente sus conceptos sean deficientes en un grado crítico. Se ha sabido durante mucho tiempo, en lo científico, que cuanto menos comprendemos un fenómeno, más variables necesitamos para explicarlo. Por tanto, el ejecutivo que no entiende perfectamente el fenómeno que controla, juega "a lo seguro" y desea toda la información posible. Y quien diseña, que comprende aún menos que el mismo ejecutivo al fenómeno en cuestión, trata de proporcionar más información de la necesaria. El resultado es un aumento en la sobrecarga de información irrelevante al que queda sujeta la administración.

Por ejemplo, en un caso al que se hizo referencia en el capítulo 2, los investigadores de mercado en una importante empresa petrolera preguntaron a los gerentes de ventas cuáles eran las variables que creían eran pertinentes para calcular el volumen de ventas de las gasolineras futuras. Se identificaron casi 70 variables. Entonces los investigadores agregaron unas 35 más y desarrollaron un gran análisis de ventas de regresión múltiple de las gasolineras existentes contra estas variables y encontraron que unas 35 de ellas tenían "significación estadística". Se basó una ecuación de pronóstico sobre este análisis. Posteriormente, un equipo de investigación de operaciones construyó un modelo basado en una sola variable, el tiempo percibido que el cliente iba a perder, que pronosticaba las ventas mejor que la ecuación de regresión de 35 variables. Se explicó la "significación" de 33 de las 35 variables por su efecto sobre dicha percepción.

La moraleja es sencilla: *uno no puede especificar cuál es la información necesaria para tomar decisiones hasta que se ha elaborado y probado un modelo explicativo del proceso de decisión y el sistema que interviene*

en el mismo. Los sistemas de información son subsistemas de los sistemas de administración. No se les puede diseñar adecuadamente sin tomar en cuenta la toma de decisiones y el control.

Délese a un ejecutivo la información que necesita y mejorará sus decisiones

Frecuentemente se supone que si se le proporciona a un director la información que necesita, no tendrá ningún problema para usarla eficazmente. Hay bastantes evidencias que contradicen esto. Por ejemplo, el siguiente es un problema tan "sencillo" en la dirección de la producción como el que se pudiera encontrar uno. Hay que fabricar los productos, cada uno de los cuales requiere tiempo en dos máquinas, M_1 y M_2 . Cada producto primeramente debe pasar a M_1 y luego a M_2 . El problema es encontrar el orden que requiera el menor tiempo posible para fabricar todos los productos. Bastante sencillo. Se da toda la información necesaria para resolver el problema en la tabla 6.1.

A pesar del hecho de que este problema es mucho menos complicado que la mayoría de los verdaderos problemas de administración de la producción, y a pesar del hecho de que se proporcionan todos los datos necesarios para resolverlos, hay muy pocos ejecutivos que lo pueden resolver. No pueden hacerlo intentando las alternativas porque hay más de tres y medio millones de ellas. Sin embargo, se puede resolver el problema en menos de un minuto si uno sabe cómo.

Tomemos el producto con la entrada más baja en tiempo en la tabla, la número 9. Puesto que la partida (1) aparece en la columna derecha, colóquese este producto en el último lugar en la secuencia y táchese el producto 9 en la tabla. Tómese el producto con el siguiente tiempo menor, el número 7. Puesto que la partida (2) aparece en la columna de la izquierda, colóquese este producto en primer lugar en la secuencia y táchese la línea número 7. Tómese el producto con el siguiente tiempo menor, el número 2. Puesto que la partida (3) aparece en la columna de la izquierda, colóquese la número 2 en segundo lugar en la columna de la izquierda

TABLA 6.1. Un problema de secuencia de producción.

Producto Núm.	Tiempo requerido en la máquina	
	M_1	M_2
1	7	18
2	3	13
3	12	9
4	14	5
5	20	8
6	4	16
7	2	20
8	9	15
9	19	1
10	6	13

(después de la número 7) y táchese la línea 3. Continúese tomando de la izquierda para las partidas en la columna de la izquierda y de la derecha para las partidas de la derecha, hasta que se hayan ordenado todos los productos. En caso de empate, se puede escoger cualquiera de los dos.

El *quid* de este ejemplo es que, si sabemos usar la información necesaria para resolver un problema, podemos programarlo para una computadora o para una persona cuyo tiempo sea menos valioso que el de un ejecutivo. Si no sabemos cómo resolver el problema, aunque tengamos la información necesaria no nos ayudará a resolverlo.

En la mayoría de los problemas de administración, hay demasiadas soluciones posibles para que podamos esperar que el criterio o la intuición seleccionen la mejor, aunque se tenga a la mano una información perfecta. Además, cuando existen probabilidades (incertidumbre) en un problema, la mente, sin guía, tiene dificultades para manejarlas con provecho. Hay muchos problemas "sencillos" que implican probabilidades en donde la intuición no adiestrada generalmente hace un mal papel. Por ejemplo, ¿cuáles son los monios correctos de que por lo menos 2 personas de 25 que se escojan al azar cumplan años el mismo día? Sobrepasan el 50%.

La moraleja: *es necesario determinar qué tan bien pueden usar la información necesaria los ejecutivos. Si no la pueden utilizar bien, se les debe proporcionar reglas para tomar decisiones o retroalimentación sobre su rendimiento de manera que puedan identificar sus errores y aprender de ellos. Hablaremos más al respecto posteriormente.*

Más comunicación significa mejor rendimiento

Una característica de la mayor parte de los sistemas informativos es que proporcionan a los ejecutivos más información actualizada acerca de lo que otros ejecutivos y sus unidades están realizando. La creencia que lo motiva es que una mejor comunicación interdepartamental permite a los administradores coordinar sus decisiones con mayor eficacia y, por tanto, mejorar el rendimiento global de la organización. No sólo no ocurre así necesariamente, sino que pocas veces ocurre. No cabe esperar que dos compañías competidoras cooperen más entre sí cuando se le proporciona a cada una más y mejor información sobre la otra. Esta analogía no es tan descabellada como uno podría suponer al principio. Los departamentos y las divisiones de una empresa con frecuencia compiten entre sí con mayor intensidad que con otras compañías. Recordemos el ejemplo de la tienda departamental que se usó en el capítulo anterior. Una comunicación perfecta entre los gerentes de compras y de ventas en esa situación podría dar por resultado que nada se comprara y nada se vendiera. La supervivencia de la tienda exigía que se restringiera la comunicación entre ellos.

Cuando las unidades de una organización tienen medidas de rendimiento no apropiadas que las ponen en conflicto unas con otras, como sucede la mayoría de las veces, la comunicación entre ellas puede menoscabar el rendimiento global, no ayudarlo. *La estructura de la empresa y las medidas de rendimiento deben corregirse antes de que se abran las compuertas y se permita el flujo libre de información entre las partes de la compañía.*

Un ejecutivo no tiene que saber cómo funciona un sistema de información sino sólo cómo usarlo

La mayoría de los que diseñan los sistemas de información buscan hacerlos inocuos y discretos para los ejecutivos, para evitar asustarlos. Los diseñadores procuran proporcionar a los directores un acceso muy fácil al sistema y asegurarse que no necesitan saber más de él. Los diseñadores generalmente logran evitar que los administradores separen más del sistema. Esto evita que los ejecutivos puedan valorar el sistema globalmente. A menudo los inhibe hasta de intentar saberlo para no dar a conocer públicamente su ignorancia. Al no valorar sus sistemas de información, los ejecutivos delegan mucho del control de la organización a los diseñadores, que podrán tener muchas virtudes, pero rara vez tienen aptitudes administrativas.

Recordemos el caso del sistema de control de producción por computadoras que vimos en capítulo anterior. Ese sistema costaba a la compañía interesada alrededor de 150,000 dólares más mensualmente que el sistema anual al que había reemplazado, aparte del costo de la computadora. La dirección no había podido encontrar la falla porque no entendía el sistema lo suficientemente bien para hacer preguntas pertinentes, que eran obvias y sencillas.

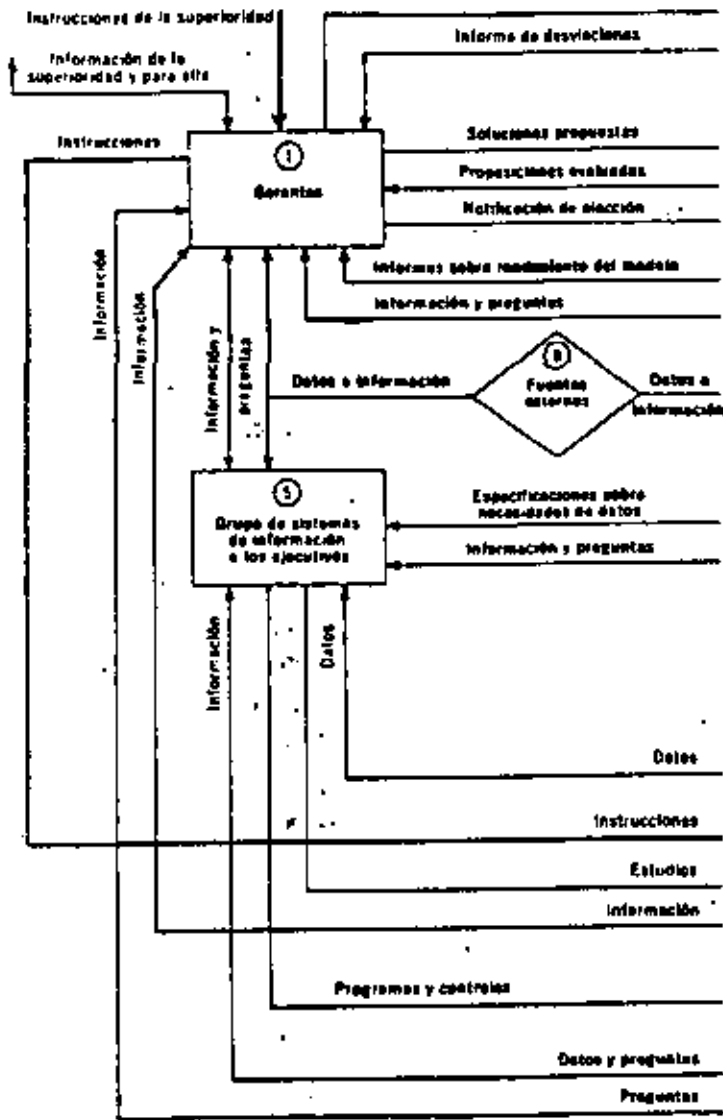
La moraleja: *Nunca se debe instalar un sistema de información a la administración a menos que los ejecutivos que se sirven de él entiendan cómo opera lo suficientemente bien para poder evaluar su rendimiento. Los ejecutivos deben controlar a la computadora, no ser controlados por ella.*

UN SISTEMA INTEGRADO DE ADMINISTRACIÓN

Para poder evitar las cinco deficiencias que acabamos de señalar, es necesario: a) diseñar un sistema de información como un subsistema, como parte integral de un sistema de administración, y de esta manera relacionarlo estrechamente con los sistemas de decisión y control; b) instalar el sistema de información dentro de una organización rediseñada, en donde los objetivos de rendimiento y las metas de partes de la empresa sean compatibles entre sí y con los objetivos y metas globales, y c) hacer partícipe a la administración superior del diseño de cada uno de estos subsistemas y en la misma organización.

Hasta ahora hemos considerado la información, las decisiones y los controles separadamente. Ahora considerémoslos en un sistema integrado, que constituya un sistema adaptativo de administración. La figura 6.1 es un diagrama esquemático de un sistema de este tipo. En la presentación que sigue veremos todas las partes de este diagrama. Los números iniciales de los párrafos que siguen se refieren a los cuadros correspondientes.

1. En este sistema, los *ejecutivos* reciben instrucciones "de arriba" e información de numerosas fuentes que consideraremos en seguida. Las instrucciones que reciben incluyen la especificación de objetivos y metas a lograr, y medidas de rendimiento que se refieren a lo mismo. Con estos datos, la administración a) toma las decisiones directamente, cuando no



Legenda
 [] Una actividad computable

FIG. 6.1. Un sistema administrativo adaptativo.

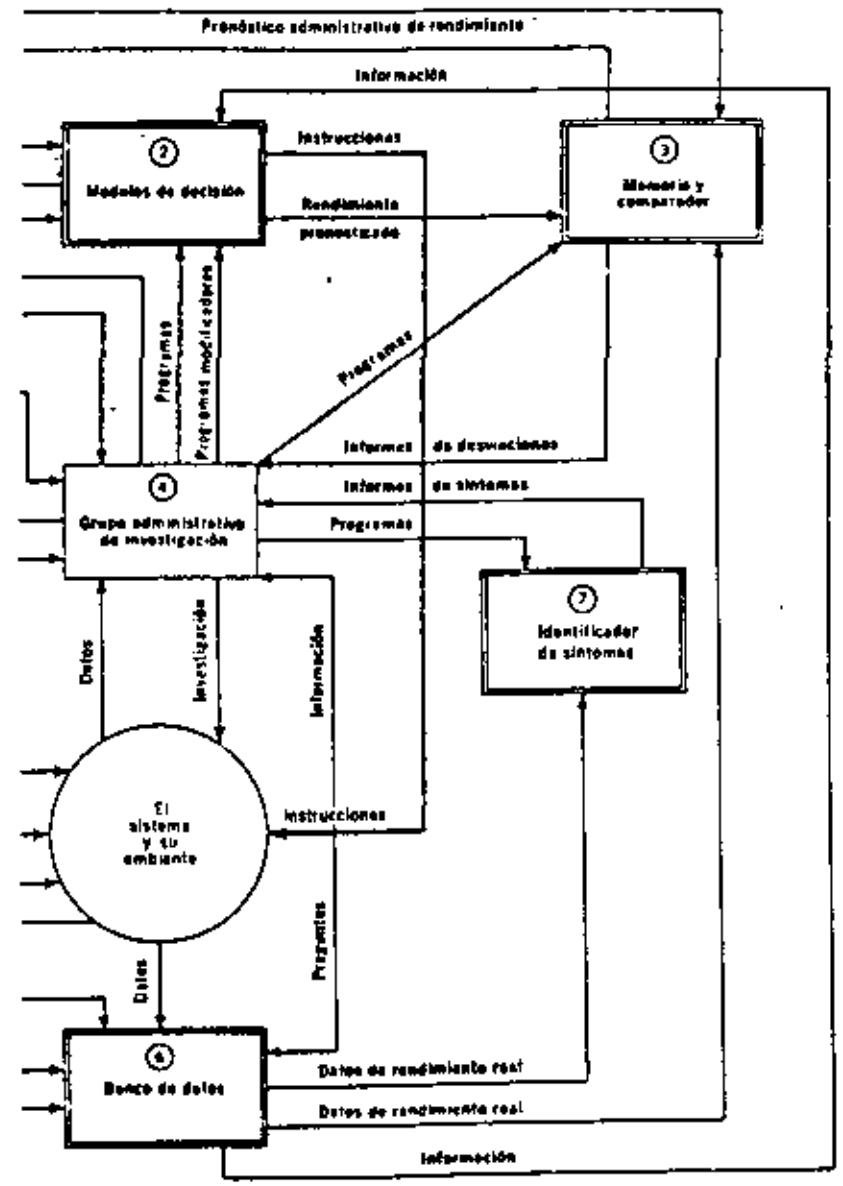


FIG. 6.1.

Hay modelos disponibles, y luego da instrucciones al sistema que dirige, donde éstas se ejecutan, o b) dialogan con los modelos apropiados de decisión. Estos modelos pueden estar en una computadora o pueden ser operados manualmente por un grupo de investigación administrativa. Ya hemos considerado la naturaleza de tal diálogo. Consiste en que los gerentes proponen distintas alternativas de un problema a un modelo. El modelo desarrolla una evaluación comparativa de estas proposiciones y retroalimenta el resultado a los administradores, que pueden seleccionar alguna de ellas o continuar el diálogo hasta que se llegue a un punto satisfactorio o se agote el tiempo. Con el tiempo los directores toman una decisión, emiten sus instrucciones al sistema, y "notifican" al modelo sobre la selección que han hecho.

2. Los *modelos de decisión* que implica un sistema así son de dos tipos: aquellos de los cuales se pueden derivar las mejores decisiones y aquellos que se pueden usar sólo para comparar las alternativas. En el primer caso, el modelo genera por sí mismo una solución al problema, usando la información que le ha suministrado el sistema, y emite instrucciones derivadas de la solución directamente al sistema. También pronostica el rendimiento que se espera y "lo envía" a la memoria.

Cuando un ejecutivo hace una selección con base en un diálogo con el modelo, le notifica a éste, que entonces predice el resultado en términos de medición de rendimiento, y envía este pronóstico a la memoria. Cuando los directores toman una decisión sin usar un modelo, ellos predicen el resultado y lo envían a la memoria. La memoria debe recibir un pronóstico de rendimiento por cada decisión que se toma, sin importar la forma en que se haya tomado.

3. La *memoria* (que puede ser o no de computadora) retiene los pronósticos hasta que recibe información sobre el rendimiento real del banco de datos. Entonces *compara* el rendimiento real con el pronosticado, y donde encuentra una diferencia considerable la comunica como una *desviación*. Se envía un informe a los ejecutivos del resultado de aquellas decisiones que han tomado sin usar modelos, y se envía un informe similar al grupo de investigación administrativa de aquellas decisiones que se tomaron como modelos.

4. El *grupo de investigación y administración* consiste en especialistas en ciencias administrativas que tienen la responsabilidad de desarrollar modelos de las decisiones, de la programación de su uso, y del diseño y programación de la memoria y el comparador. Este grupo intenta encontrar las causas de las desviaciones del rendimiento verdadero respecto del pronosticado cuando se han utilizado modelos. Puesto que las desviaciones pueden ser ocasionadas por información defectuosa o por modelos defectuosos, este grupo debe encontrar la causa y corregirla. Si este grupo no puede encontrar una explicación para una desviación, retira el modelo hasta que se haya corregido o hasta que la información se haya modificado, y lo notifica a la administración. En estos casos los ejecutivos vuelven a hacerse cargo de las decisiones hasta que los modelos puedan utilizarse nuevamente. En algunos casos, los ejecutivos pueden proporcionar al grupo de investigadores administrativos una explicación de la desviación.

Nótese que el circuito de decisiones y control que se acaba de describir es *adaptable*; aprende de sus propios errores y es autocorrector.

El grupo de investigación y administración también tiene la responsabilidad de elaborar un *identificador de síntomas*, que discutiremos a continuación.

Al analizar las decisiones de la administración y desarrollar modelos para las mismas, el grupo de investigación y administración determina cuál es la información necesaria para tomar las decisiones y así lo notifica al grupo de sistemas informativos para la alta gerencia.

5. El *grupo de sistemas de información para la administración* tiene la responsabilidad de diseñarlos y hacerlos funcionar. Recibe datos de todas partes del sistema, pedidos o no, incluyendo información que recibían originalmente otras partes del sistema, solicitada o no. Este grupo la procesa toda (incluyendo su filtrado y síntesis), y proporciona un informe donde se necesita. El sistema que opera este grupo incluye un banco de datos.

6. El *banco de datos* es un sistema de computadora o manual que colecciona, procesa, almacena, recupera y distribuye la información regularmente o a solicitud especial (pregunta) de cualquier parte del sistema.

Nótese que los ejecutivos, los investigadores administrativos y los especialistas de este sistema pueden obtener la información directamente del banco de datos y del sistema que se está manejando. También reciben información de *fuentes externas*. (8).

7. Hasta ahora, solamente hemos considerado cómo se resuelven los problemas que se han identificado, pero no cómo se les identifica. Un ciclo completo de decisiones consiste de tres etapas:

- a) Identificación de síntomas.
- b) Diagnóstico.
- c) Prescripción.

Desde luego, la prescripción es la toma de decisiones (la transformación de la información en instrucciones) que hemos considerado detalladamente. El diagnóstico es lo que interviene en el desarrollo de modelos explicativos de decisiones. Esta es una actividad principal del grupo de investigación y administración. Pero todavía no se han tratado la sintomatología y la identificación de problemas.

Un *síntoma* es una desviación de la conducta de un sistema de lo que se considera "normal". Por ejemplo, la fiebre es una temperatura anormalmente elevada. La presión arterial puede estar arriba o abajo de los límites normales. En forma similar, el aumento de los inventarios más allá de lo normal es un signo de que algo anda mal. Los costos inferiores a lo usual también son síntomas, pero no necesariamente, de que algo anda mal. Sin embargo, indican un cambio en el sistema que exige que se le preste atención.

Se dispone de toda una tecnología para definir la "normalidad" del comportamiento de un sistema y para descubrir las desviaciones de la misma. La tecnología es de *control estadístico de calidad*. Se aplica normalmente a las características de rendimiento de subsistemas de producción, pero no necesariamente tiene que estar restringida a esto. Por medio del análisis estadístico del rendimiento anterior de un sistema, es posible defi-

mir los límites de la conducta "normal". El comportamiento fuera de estos límites es muy improbable que ocurra, a menos que el sistema haya cambiado en alguna forma fundamental. Por ende, se toma dicha conducta como un síntoma de que algo anda mal. Se puede fijar a cualquier nivel que se desee la probabilidad de que algo está mal cuando ocurre un síntoma.

Al aplicar las técnicas estadísticas a una amplia variedad de medidas de rendimiento de un sistema, podemos descubrir cuando algo probablemente se ha desviado, y dirigir la diagnosis a la misma. Una vez que se ha desarrollado el procedimiento para identificar los síntomas (por ejemplo, uno que usa una gráfica de control por estadísticas), se puede computar su uso. Al recibirse la información acerca del rendimiento verdadero del banco de datos, la computadora puede realizar los análisis necesarios y avisar de cualquier desviación del comportamiento normal.

Se obtienen los síntomas no sólo al comparar la conducta actual del sistema con su comportamiento anterior, sino también al comparar su conducta actual con la de otros sistemas similares; por ejemplo, con la de los competidores. Una compañía que no esté creciendo tan rápidamente como la mayoría de sus competidores tiene algo que falla. También se pueden programar dichas comparaciones para la computadora.

Es posible ir aún más allá en la identificación de los síntomas al tratar con *presintomas*. Un presintoma es un pronóstico de un síntoma futuro. Por ejemplo, cuando una persona dice que siente como si fuera a enfermarse, ha observado un presintoma. Estas no son premoniciones misteriosas, sino fenómenos explicables. La conducta normal no es fija, sino que fluctúa dentro de unos límites que la definen. Estas fluctuaciones generalmente tienen un carácter aleatorio. Es un presintoma del comportamiento normal que dejen de ser aleatorios. Por ejemplo, podemos observar una serie de cifras de costos (obtenidas durante semanas consecutivas), todas las cuales están dentro de los límites de la normalidad, pero estando cada una por arriba del promedio, o quizá puedan mostrar una tendencia dentro de esos límites. En estos casos se ha observado una conducta no aleatoria que indica un cambio posible en el sistema o en su ambiente. Un cambio así merece atención.

Las pruebas para el comportamiento no aleatorio están bien desarrolladas y se pueden realizar por medio de una computadora.

Consideremos el caso de una compañía, cuya materia prima se consigue en el mercado y, por ende, está sujeta a fluctuaciones diarias en el precio. La empresa naturalmente estaba interesada en determinar cuándo estos precios se descontrolaban en cualquiera de las dos direcciones. El análisis de los precios pasados de estos artículos indicó que en la mayoría de los períodos que precedían a una desviación del precio de lo normal, habían ocurrido fluctuaciones no aleatorias en el precio. Por medio de esta información fue posible predecir cuándo se descontrolarían los precios y en qué dirección, con una anticipación de siete semanas al tiempo en que antes había sido posible. Esto le permitió a la compañía ajustar sus compras de los artículos.

Nótese que sistemas de identificación de síntomas y de presintomas

como los que se han descrito pueden programarse para indicar solamente de la conducta no acostumbrada; esto es, proporcionar sólo "informes de excepción". Por tanto, se puede mantener la información no pertinente a un mínimo.

El sistema administrativo que he descrito se aplica a cualquier nivel de la administración. Es obvia la concatenación de los distintos niveles. Cada nivel recibe instrucciones de arriba y suministra información a la superioridad. Los niveles inferiores de la administración se incluyen en el sistema controlado a cada nivel. Hasta la dirección general puede recibir instrucciones de fuentes externas, como los accionistas o el Gobierno. Por tanto, el diseño global de una empresa puede consistir en un conjunto jerarquizado de sistemas de administración interrelacionados del tipo descrito. (Beer, 1968, presenta una forma generalizada de tal jerarquización.)

RESUMEN

El control es la evaluación de las decisiones después de que éstas se han implementado. Implica pronosticar el resultado de las decisiones, compararlo con el resultado real, y corregirlo donde hay bastante discrepancia. Los sistemas de control deben estar conectados con todo sistema de toma de decisiones. Pero cada uno de estos últimos requiere a su vez de un sistema de información para proporcionar los datos necesarios. Estos tres sistemas —decisión, control e información— se combinan para formar un sistema de administración.

Al diseñar un sistema informativo para la alta gerencia, hay cinco suposiciones (de las cuales una o más están implícitas frecuentemente) que se deben evitar a menos que, tras un examen cuidadoso, se encuentren válidas. Son las siguientes:

1. Los ejecutivos necesitan urgentemente más información pertinente. (Usualmente tienen más necesidad de que se reduzca la información no pertinente.)

2. Los ejecutivos necesitan la información que desean tener. (Esto es cierto sólo si tienen buenos modelos de sus decisiones. De ser así, no necesitan tomar las decisiones personalmente. Otros las pueden tomar por ellos o se pueden computar.)

3. Si se le da a un administrador la información que necesita, sus decisiones mejorarán. (Esto es válido en general sólo para decisiones sumamente sencillas, pero no para las más complejas, que son las más numerosas.)

4. Una mayor comunicación entre los directores conduce a un mejor entendimiento. (Esto es cierto solamente en organizaciones cuyas unidades tienen objetivos no conflictivos y que son compatibles con los de la empresa como un todo.)

5. Un ejecutivo no tiene que saber cómo trabaja su sistema de información, únicamente cómo usarlo. (Si no lo sabe, estará controlado por el sistema, y no a la inversa.)

Para poder evitar estas cinco suposiciones, se requiere instalar el sis-

tema de información dentro de un sistema administrativo, en cuyo diseño participe la alta gerencia, y tomar las medidas necesarias para asegurar la compatibilidad de los objetivos de las unidades con los de la organización como un todo. Un sistema de administración debe comprometer a los ejecutivos, a los especialistas en ciencias de la administración, y a los especialistas en sistemas de información a colaborar cercana y continuamente, todos aprovechando la capacidad de las computadoras hasta donde sea posible. Un sistema así debe ser capaz de identificar los problemas cuando surjan, así como resolver aquellos que ya se hayan reconocido como tales, y de aprender de sus propios errores.

Pasemos ahora a una discusión breve y final de algunos aspectos organizacionales del proceso de planeación en sí.

La organización del esfuerzo de la planeación

INTRODUCCIÓN

Es evidente que el concepto de la planeación de empresas desarrollado en este libro requiere que los ejecutivos, los científicos de la administración y los especialistas en sistemas de información, participen en un esfuerzo de colaboración continua. El éxito del esfuerzo depende más que nada de la relación que exista entre ellos.

Se recordará que en la planeación adaptativa se considera que el proceso de la planeación es más importante que su producto. La dirección tiene más que ganar al participar en este proceso que al utilizar un plan elaborado por otras personas. Por tanto, es esencial el compromiso de los ejecutivos en el proceso de la planeación para que sea efectivo.

En este capítulo final examinaremos primero varias consecuencias importantes de este concepto de la planeación. Para ello consideraremos tres preguntas:

1. ¿Dónde se debe situar la planeación en la estructura de la organización?
2. ¿Cuánto tiempo deben dedicar los ejecutivos a la planeación?
3. ¿Cómo se debe informar del progreso de la planeación a los ejecutivos que no intervienen en ella, y a otras personas que resultan afectadas considerablemente por los planes?

El segundo problema considerado en este capítulo es aplicable primordialmente a las empresas grandes, en especial para las que desarrollan diversas actividades en muchos lugares diferentes. Una planeación omnicompreensiva en tales organizaciones requiere coordinación en muchos lugares y en diferentes niveles. ¿Cómo se puede mejorar dicha coordinación?

Por último, consideraremos las características que uno desearía tener colectivamente en un grupo de planeación y en cada uno de sus miembros.

LA PARTICIPACIÓN DE LOS EJECUTIVOS EN LA PLANEACIÓN

La mayoría de los ejecutivos hacen un poco de planeación, pero usualmente por su cuenta y no en una forma sistemática o general. El mismo

proceso de planeación debe organizarse, dirigirse y ejecutarse eficientemente a fin de planificar sistemática y comprensivamente. Por tanto, ha parecido natural a muchos ejecutivos, que reconocen la necesidad de un esfuerzo organizado de planeación, crear unidades de planeación de toda la empresa, o divisionales o departamentales.

Si se confiere a una unidad de este tipo toda la responsabilidad de preparar un plan y someterlo para su aprobación a los ejecutivos, entonces, en la mayoría de los casos, se habrá dado a la planeación el peso de la muerte. La probabilidad del éxito del esfuerzo de la planeación disminuye conforme aumenta la autonomía de ésta dentro de la empresa. Tal autonomía ocasiona la no participación de los gerentes de línea y frecuentemente también de los ejecutivos. Por lo general, se asigna a tales unidades un personal que no se considera apto para otra actividad más "productiva". A menudo se vuelven cámaras de aislamiento tanto para los investigadores como para los ex gerentes y demás personal de estos grupos, dentro de los cuales se puede estar seguro de que habrá poco o ningún contacto concreto con la realidad para la cual se planifica. Es frecuente que dichas unidades desempeñen el mismo papel de los brujos en las tribus primitivas: ofician rituales que tienen escaso efecto sobre la gente una vez que se han terminado y no existe ningún efecto sobre la situación objetiva.

Estos comentarios no implican que no debe haber un grupo de planeación, sino que no debe tener toda la responsabilidad de ella. Debe tener la responsabilidad de participar en las actividades de planeación de los directores y apoyarlas. Por otra parte, estos comentarios implican que no se debe iniciar una actividad de planeación creando para tal objeto una función formal de planeación y entregándole la tarea.

Es nuestra opinión, que probablemente la forma en que la General Electric Company usa sus grupos de planeación de tareas, sea la forma más eficaz para iniciar un esfuerzo de esta naturaleza que hayamos visto o en que hayamos participado. (En general, esta empresa no ha tenido tanto éxito para mantener a flote estos esfuerzos, una vez iniciados.) Hemos participado en dos esfuerzos así. El primero fue en la división de lámparas en 1953 y 1954, una actividad a la que ya hemos hecho referencia. Estas tareas eran dirigidas por un miembro del cuerpo administrativo del vicepresidente y gerente general de la división. No es mera coincidencia que el director del equipo fuera Fred J. Borch, actual presidente del consejo de administración y principal ejecutivo de la empresa. Los otros miembros eran el gerente administrativo de la oficina matriz encargado de los distritos de ventas, el gerente administrativo de la oficina matriz encargada del ensamble de lámparas, el gerente administrativo de la oficina matriz de la red divisional de distribución, el gerente de la planta química de la división, el gerente de una de sus fábricas de vidrio, el gerente de su programa de desarrollo de fabricación, el abogado principal de patentes y el jefe del grupo de auditores de la división. Este grupo de expertos estaba auxiliado por tres investigadores de operaciones profesionales.

El presidente y el auditor, juntamente con el consejo técnico, comenzaron a trabajar de tiempo completo en el problema. Se reunían con los

otros miembros dos días por semanas, lo cual no tardó en aumentar a tres días por semana, y en las últimas etapas del proyecto (que duró alrededor de 15 meses) a ocho días por semana.

La segunda ocasión que participamos fue en la división de aparatos para el hogar a fines de la década de los 50s. Esta vez participaban cinco gerentes y dos investigadores de operaciones, pero este grupo trabajó unos 18 meses. Estaba al frente del equipo uno de los miembros del grupo de investigación anterior de la división de lámparas.

En ambos esfuerzos de planeación se invertía mucho tiempo de los mejores gerentes de las divisiones correspondientes.

Una vez que se aceptaban los planes, se turnaban para su mantenimiento y control a los grupos de investigación de los directivos. Pero los gerentes no participaban en este proceso como deberían haberlo hecho. No se apreciaba la necesidad de una planeación continua. Se pensaba que una planeación general y detallada se hacía sólo ocasionalmente.

Hubiera sido conveniente, en estos casos, que se hubieran establecido grupos más pequeños de gerentes e investigadores, que se substituyeran periódicamente en tal forma que hubiera un "núcleo experimentado" en todo momento, para actualizar y continuar el plan.

No hay duda de que el tiempo que estos ejecutivos emplearon en estos trabajos contribuyó considerablemente al desarrollo de sus habilidades administrativas.

Desde que tuvimos estas experiencias con estos grupos, hemos participado en numerosos trabajos de planeación, cada uno organizado en forma diferente, pero todos ellos consumieron mucho tiempo de los directivos, complementado con el de los investigadores. El arreglo de mayor éxito en que hemos participado surgió de los cambios en una empresa que produjo un trabajo de investigación de operaciones. En este estudio de una función principal de la empresa, se llegó a la conclusión de que la función debería estar dirigida por dos vicepresidentes; un vicepresidente que sería responsable de la estrategia y la planeación a largo plazo, y un vicepresidente junior que sería responsable de las tácticas y de la planeación a corto plazo. Se organizó un solo grupo de investigación para ayudarlos. Participaron, tanto en la planeación estratégica como en la táctica, otros gerentes subordinados a los dos vicepresidentes. En este caso, la planeación nunca estuvo enfocada hacia la elaboración de un plan; la planeación era, y continúa siendo, un proceso sin interrupción. La planeación y la investigación de los directivos están vinculadas indisolublemente, y no se hace esfuerzo alguno para diferenciar entre ambas. Esto es consecuencia del concepto de planeación como una responsabilidad continua de todos los ejecutivos, y no como una actividad esporádica que se suele relacionar con las crisis.

Por tanto, el problema organizativo de la planeación consiste en encontrar formas de integrarla en los procesos administrativos y de investigación administrativa y no en organizarla como una unidad separada de planeación. Una vez que se ha justipreciado este punto, se puede iniciar la planeación productiva.

En una estructura ideal, el grupo responsable de la planeación (los

ejecutivos más los investigadores) debe estar directamente bajo el control del ejecutivo que tiene la máxima autoridad sobre este proceso. Y debe encabezar al grupo, aunque le sea necesario delegar la dirección cotidiana del mismo a otra persona. En mi opinión, el grupo de planeación, independientemente de la forma como se haya integrado, no debería depender de otro ejecutivo que a su vez dependiera del responsable. Por ejemplo, es muy común que una unidad de planeación esté a cargo de un ejecutivo de finanzas que no es el que toma la última decisión, aunque sea miembro del comité ejecutivo que acepta o rechaza los planes. Esta práctica tiende a darle un sesgo financiero a la planeación. Debe haber personas del departamento de finanzas que participen en la planeación corporativa, pero no deben tener más control sobre la misma que cualquier otro grupo funcional.

GRUPO DE PLANEACIÓN

La planeación no pueden efectuarla exclusivamente los ejecutivos, y éstos no deberían llevarla a cabo solos; necesitan apoyo técnico. Sin embargo, como ya hemos indicado, no creo que el grupo deba identificarse y organizarse como un departamento de planeación de la compañía. No existe la profesión de planificadores de empresas. Las habilidades requeridas para apoyar una planeación eficaz se deben tomar de una variedad de profesiones, tales como la investigación de operaciones, las ciencias de sistemas de información, la economía, la estadística, las ciencias de la conducta, y otros campos relacionados con la administración. Aquellas profesiones útiles para este proceso se seleccionan mejor a partir de los grupos de servicio administrativo de la empresa y se pueden organizar mejor como equipo para esta tarea. Esto tiene varias ventajas. Tales personas no han creado intereses en los trabajos anteriores de planeación, y, consecuentemente, no habrán de defenderlos. Por lo mismo, generalmente tienen una perspectiva más fresca que los llamados planificadores. Además, la preocupación de sus esfuerzos se propaga a sus unidades de procedencia, y, por ende, se alienta y acelera el surgimiento de medidas de apoyo en estas unidades.

Si no se dispone de un organismo competente para la planeación dentro de la compañía, se puede obtener dicho personal de fuentes "externas". Hay empresas consultoras o grupos académicos de investigación que pueden proporcionar personal para trabajar con los administradores en este proceso. (Así procedió la General Electric Company en las dos ocasiones que se han descrito con anterioridad.) Pero aquí cabe señalar dos peligros. El primero, es que la propia planeación no debe ser contratada con una empresa externa. Téngase presente que no se puede planificar con éxito para una empresa; ella misma es la única que puede desarrollar su planeación. El segundo, es que se debe responsabilizar al organismo externo del entrenamiento en estas tareas del personal de la compañía. Si no se cuenta con dicho personal entrenado dentro de la empresa, los expertos externos dejarán un vacío a su salida; la incapacidad para mantener un plan y continuar el proceso de la planeación.

Según mi modo de ver, si hay un departamento cuya función específica sea hacer los planes, debe estar bajo la dirección de un ejecutivo a cargo de lo que podrían llamarse "servicios administrativos". Los investigadores de operaciones, los sistemas de información y otros grupos relacionados con lo mismo también deben estar bajo su control. Al disponer así las cosas, por lo menos se puede hacer circular al personal entre las unidades que contienen tipos pertinentes de expertos.

El director de los servicios administrativos y el personal de mayor antigüedad dentro del grupo que labora en los planes deben comprender profunda y ampliamente los problemas de la administración. A fin de adquirir esa comprensión, deben participar en las discusiones de los ejecutivos sobre sus problemas, sea o no que estén trabajando en los mismos. Deben ser una parte tan integral de la función ejecutiva como los mismos administradores. A menos que participen en los comités administrativos, no podrán percibir las necesidades, deseos y restricciones bajo las que labora la dirección, y por ende, no pueden responder a las mismas.

En una empresa con la que estoy familiarizado, los ejecutivos superiores dirigen regularmente sesiones resumidas para todo su cuerpo de planeación, investigación y sistemas, a fin de mantenerlos al corriente y participando en el trabajo. Este procedimiento funciona bien, pero sólo debe complementar la participación directa del personal de planeación de mayor antigüedad en las reuniones en que deciden los directivos, más no substituir tal participación.

LA PARTICIPACIÓN DE OTROS EJECUTIVOS EN LA PLANEACIÓN

Los ejecutivos que no participan directamente en la planeación, y otro personal (por ejemplo, la plana de gerentes) que se vea afectado considerablemente por la misma, deben ser informados constantemente acerca de lo que ocurre. Se les debe exponer la filosofía, la estrategia, la metodología de la planeación, así como las suposiciones fundamentales y los procedimientos de obtención y análisis de datos. Si se les informa, los resultados no serán una sorpresa, y, por ende, podrán realizarse con menos molestias que si se intentan interpestitivamente.

Al hacerse la planeación para la división de lámparas de la General Electric, se dio a conocer al personal clave. Los miembros del grupo de planeación se reunieron por separado con la mayoría de los gerentes de la división para explicarles el trabajo y pedirles sugerencias. Se trató de incluir a la mayoría de ellos en el proceso de planeación en aquellos puntos en que su experiencia y habilidades específicas podían aplicarse mejor. Su cooperación resultó ser muy valiosa durante el proceso de planeación. Se aminoraron los temores de una ~~reducción~~ ~~de~~ ~~la~~ ~~eficiencia~~, y esto permitió a la división continuar operando a ~~un~~ ~~nivel~~ ~~de~~ ~~eficiencia~~. Como resultado de lo anterior, el plan que ~~se~~ ~~desarrolló~~ ~~recibió~~ un apoyo casi unánime de parte de los ejecutivos y ~~el~~ ~~personal~~.

PLANEACION A NIVELES MÚLTIPLES Y CON UNIDADES MÚLTIPLES

Es una organización que opera a niveles múltiples y con unidades múltiples (es decir, en donde la pirámide estructural es alta y amplia) la planeación usualmente tiene que realizarse en forma simultánea en la mayoría de los niveles, si es que no se puede efectuar en todos. La necesidad de coordinar la planeación a diferentes niveles es indiscutible; pero un plan no debe ser un conjunto adaptado de planes preparados por las divisiones, departamentos u otras partes de la organización. Los planes preparados por las subunidades para sumarse en la cima tienden a ser simple propaganda para obtener una mayor parte de los recursos de la empresa. A decir verdad, una planeación efectiva para la compañía exige la planeación en todas las partes de la organización, pero debe ser coordinada, metódica y conceptualmente desde la alta gerencia.

No es fácil obtener la coordinación necesaria de los esfuerzos de planeación a niveles múltiples y en unidades múltiples. En nuestra opinión, se puede obtener mejor dicha coordinación por medio de un sistema de juntas o comisiones revisoras de la planeación.

LAS COMISIONES REVISORAS DE LA PLANEACION

Consideremos la organización de una planeación típica a tres niveles de unidades múltiples como la que se muestra en la figura 7.1. Por el momento, concentrémonos en el nivel divisional medio. Los planificadores a este nivel tienen datos importantes para la planeación a nivel departamental y requieren datos sobre la planeación de la empresa si han de funcionar con eficiencia. También tienen datos que proporcionar al nivel

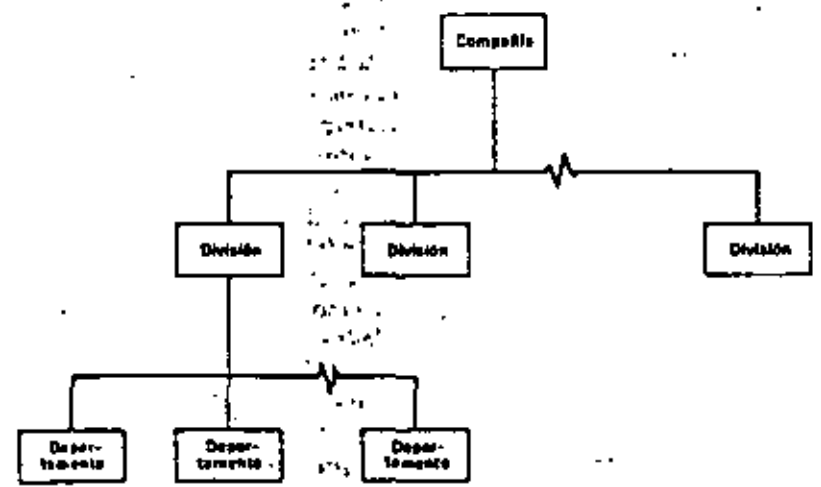


Fig. 7.1 Organización a tres niveles de las unidades de planeación.

de la empresa y datos que recibir del nivel departamental. La planeación en cualquier nivel intermedio requiere comprender la que se efectúa en los niveles superior e inferior, y entender la que efectúan otras unidades al mismo nivel. Esto último es necesario si han de ser compatibles los planes elaborados en diferentes unidades al mismo nivel.

La comunicación y el desarrollo de la comprensión necesarias se puede obtener al establecer comisiones que revisen la planeación efectuada por cada unidad planeadora. Estas comisiones deben establecer las políticas que deben observar las unidades y evaluar los procesos y los resultados de estas unidades.

Estas comisiones deben estar compuestas como sigue: a) el jefe de cada unidad planeadora —el ejecutivo con mayor rango en la unidad a ese nivel— es miembro de la comisión de la que depende su unidad. Esta comisión también incluye, b) el encargado de cada unidad planeadora subordinada a la primera, y c) el ejecutivo de más alta jerarquía del nivel inmediato superior, que actúa como presidente de esa comisión.

Así, cada gerente de nivel intermedio es miembro de las comisiones a tres niveles:

1. La comisión a la que está sujeto su superior inmediato.
2. La comisión de la que él es miembro, presidida por su superior inmediato.
3. La comisión de cada uno de sus "subalternos", que él mismo dirige.

La figura 7.2 muestra esta estructura.

Para la planeación de una organización de este tipo se debe notar un aspecto crítico. Funcionará únicamente si el alcance del control de cada ejecutivo está restringido a no más de unos siete ejecutivos. Las razones para esto son de indiscutible importancia, pero se debe observar que hay muchas otras buenas razones para limitar el alcance de los controles.

En el nivel más bajo de la administración, las comisiones pueden consistir en un personal de operación representativo, seleccionado en alguna forma apropiada, de acuerdo con la situación. En el nivel más alto, normalmente ya existe un consejo de administración. Este consejo también sirve para revisar la planeación al nivel de la empresa, y cuando así ocurre, debe incluir aquellos encargados de la planeación que están subordinados al principal funcionario ejecutivo.

Las actividades de la comisión revisora de la planeación

En las primeras etapas de la planeación, esta comisión puede desempeñar un papel importante al identificar y definir las deficiencias en la operación y actividades de su empresa. Los ejecutivos muy a menudo tienen que promover su compañía y, por ende, enumerar sus virtudes, pero rara vez tienen tiempo o deseos de identificar sus deficiencias y buscar sus causas.

En una empresa de mucho éxito, se pidió al presidente del consejo de administración, al presidente y al vicepresidente ejecutivo, que identificaran las deficiencias de su compañía en una reunión de este carácter (revisar los planes) y se tardaron cuatro horas para hacerlo. No había un acuerdo completo entre ellos, pero la discusión que surgió sobre sus divergencias

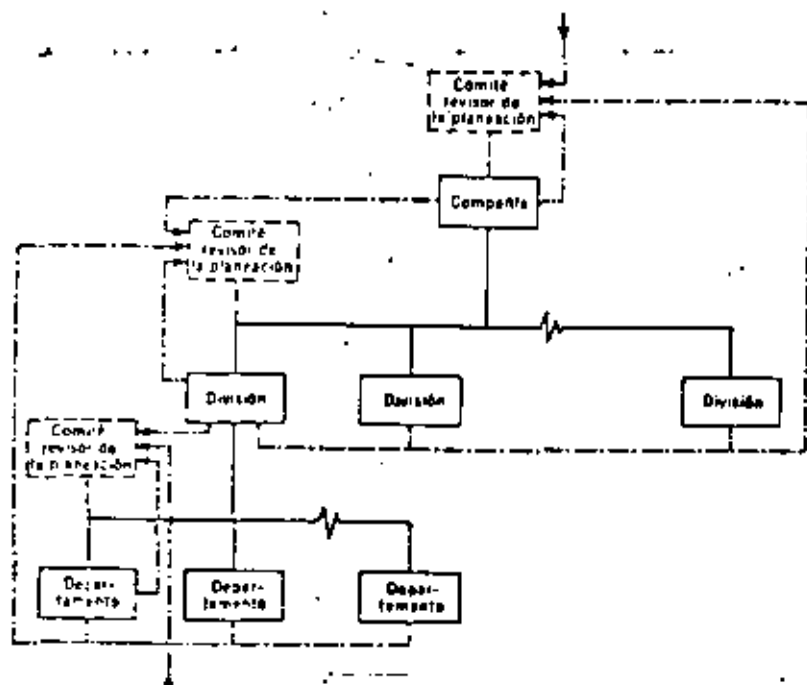


FIG. 7.2. Sistema de comité revisor de la planeación.

tuvo gran valor para los planificadores presentes. Cuando terminaron, habían formulado 14 deficiencias, que ordenaron según su importancia. Desde entonces usan esta lista para evaluar el proceso de planeación.

El comité de revisión de la planeación debe examinar con ojo crítico todos los aspectos del trabajo de los planificadores. Los miembros del comité deben exigir una formulación explícita de los supuestos, comprobar la precisión, confiabilidad y el significado de los datos; los usos a que se destinan; y poner en tela de juicio la validez de los modelos y las soluciones que se derivan de los mismos. También deben intentar asegurarse de la amplitud del trabajo de planeación y procurar que se tomen en cuenta todas las interacciones significativas entre las partes del plan.

El comité también debe realizar un papel constructivo. Debe ser responsable de la formulación de los objetivos y restricciones de estilo y de la creación de medidas apropiadas de rendimiento. También debe sugerir cursos alternos de acción, programas y políticas que los planificadores deben explorar.

Cuando se han aceptado los planes, el comité debe vigilar su ejecución y examinar constantemente sus resultados. Sus miembros deben sugerir revisiones al contenido del plan o a los procedimientos de ejecución donde sea pertinente.

Los ejecutivos y los gerentes en estos comités usualmente conocen bien de las deficiencias cuando comprenden y entienden los aspectos del negocio

y su ambiente. En tales casos, es útil organizar seminarios y reuniones de discusión a las que se inviten expertos de la compañía o externos. Los temas para algunas reuniones recientes de este tipo incluyen: a) el problema racial urbano, b) los conflictos internacionales, c) el mercado de cambios, d) las tendencias cambiantes en las relaciones entre los trabajadores y la administración, y e) el problema del tamaño de la empresa. Los ejecutivos y los expertos pueden analizar profundamente un área de problemas en reuniones como éstas. Con frecuencia llevan a investigaciones específicas para apoyar el esfuerzo de planeación.

CONCLUSIÓN

Termino con el mismo pensamiento con que principié. El valor de la planeación para los ejecutivos consiste más en su participación en el proceso que en el consumo del producto de ésta. Dicha participación estimula el desarrollo de un conocimiento más profundo del negocio y su ambiente, y obliga a la formulación y evaluación sistemática de alternativas que de otra manera no serían tomadas en cuenta. Libera grandes cantidades de actividad creadora que tan a menudo está reprimida por la rutina y por la necesidad de enfrentarse a las crisis.

Hace más de 2,000 años que Sun Tzu (400-320 A. C.) percibió el valor de la planeación, que no ha cambiado desde entonces:

Con muchos cálculos puede ganar uno;
con pocos, no. ¡Cuánta menos oportunidad
de victoria tiene quien no realiza ninguno!
El arte de la guerra, i



**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

ENERO 1983

LA UNIVERSALIDAD DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

Dr. Felipe Ochoa R.¹

1. EL PORQUE DE LA COMPLEJIDAD DE LOS SISTEMAS

El grado de complejidad de los sistemas es un tópico que preocupa de singular manera en la época 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 él mismo; evitando cualquier especie de referencia a los sistemas de la naturaleza, y aún, dentro de la variedad de los sistemas humanos, que *provengan* serían en sistemas sociales y sistemas productivos, vamos a hacer especial énfasis en estos últimos.

Para iniciar, definiremos a un sistema productivo como "un todo formado por un conjunto de elementos humanos y mecánicos interrelacionados y estructurado para desempeñar la función de producción de satisfactores para la sociedad". Esto es, sistemas en el sentido teleológico, distinguiéndolos un comportamiento del conjunto, con propósitos deliberados.

Es evidente que los sistemas productivos de las sociedades contemporáneas exhiben una creciente complejidad. El elevado número de elementos que conforman estos sistemas, pero sobre todo, la gran interacción entre componentes y entre éstos 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 así su razón de ser. Puesto que la importancia de estos sistemas se desprende del hecho mismo de que los satisfactores que en sí producen, coadyuvan al desarrollo de los países, resulta por tanto necesario el tratamiento adecuado de "la complejidad" de los sistemas de producción 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, la misma misma doctrina de los sistemas sociales), estriba en la multiplicidad de interacción de sus componentes. Cabe también cuestionar

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 creación, 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

¹ Profesor de la Cátedra de Metodología, Instituto de Estudios Avanzados de UNAM, Cuadrante 1-6.

reduccionista del análisis, identifica constantemente campos más específicos del conocimiento, forrando 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 interpretaciones, 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 estándar débil e sus interrelaciones.

En lo anterior existe 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. Resueltas estas en forma independiente, las soluciones se agregan, con resultados, que bien observa Ackoff³, 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.

Nuestros 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.

② 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 Kauffman⁴ 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 Weinberg⁵ que, "el generalista, al igual que el viajero que visita consecutivamente varias ciudades desconocidas, se va relajando 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 un 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

³ Ackoff, R.L., *Science of the Systems Approach*, Wiley, Vol. 1, May-July 1972.
⁴ Kauffman, S., *Introduction to the Science of the Systems Approach*, *Scientific Studies of Complexity*, August 1977.

⁴ Kauffman, S.C., *Introduction to the Science of the Systems Approach*, Wiley, Vol. 1, 1972.
⁵ Weinberg, S.M., *An Introduction to General Systems Thinking*, John Wiley, 1975.

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, el se 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.

8. 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 peñas dependientes y sin posibilidades de desarrollo, como lo muestra una década de crisis energéticas. ¿Podremos regresar, antes de que sea demasiado tarde?



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

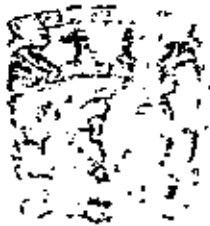
**FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA
INGENIERIA DE SISTEMAS**

ANEXOS

M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON

ENERO 1983

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



FUNDACION Y APLICACIONES DE LA
INGENIERIA EN SISTEMAS

ANEXOS

M. EN I. ARTURO FUENTES SERRON

ENERO 1983

IMPLANTACION Y CONTROL DE SOLUCIONES

①

A < Buenos ← IMPLANTACION
Malos.

B < BUENOS ← CONTROL
Malos.

Menor Arturo Fuentes Zenón

Sector público, { D. operativas
J. no operativas.

Sector privado

Ejercito

Técnico → Social.

CLASE A. 100 500 400
Trabajos que
no se llevaron
a la práctica.

CLASE B 500 300 200
Aquellos que si
se han implementado
pero no exitosos.

CLASE C. 400 200 200
Aquellos que han
tenido resultados
satisfactorios.

IMPLANTACION.

(3)

Si hacer fuera tan fácil como conocer que sería bueno hacer, las capillas habrían sido catedrales y las casuchas palacios principescos.

W. Shakespeare.

Hacer lo que se ha decidido que sería bueno hacer es un problema en muchos contextos de decisión, particularmente cuando se habla de estrategias que involucran a la sociedad.

Ningun plan, estudio, ... es mejor que lo que se implemente.

(4)

IdeS. es más que un ejercicio académico.

Meta → apoyar el cambio que se haga lo que se ha decidido.

+ que una decisión.

⇒ e, t, \$ para llevar a la práctica tales decisiones.

Cuando el cliente llama al analista

- Tiene en mente una meta
- Descubrir un curso de acción
- A un costo aceptable
- Capaz de adoptarlo
- Pueda convencer a otros ← Autoridad Responsal.
- Que pueda implementarse.

5

En la literatura no se le ha dado la importancia que merece.

Es un tópico de interés en la actualidad.

Existen múltiples artículos donde se señale porque ha fallado la implementación.

Estudios descriptivos

Estudios prescriptivos

Que hacer durante el estudio, antes y después de que se decida adoptar una decisión para hacer menos probable la falla.

El consejo de ratones.



ESTADO ACTUAL

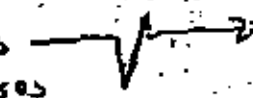


ESTADO DESEADO

PLANEACION NORMATIVA

Medios Recursos Programas

Objetivos



7 CONCEPTOS DE IMPLANTACION

a) Adopción de una recomendación por parte de un individuo autoritario o institución

↑ Rememore de épocas anteriores

Decisiones de arriba

↓

implantación = aceptación por el decisor de los métodos analíticos y resultados.

Cuando se empezó a trabajar en problemas sociales...

Soluciones de papel
Enfoque sin valor

b) Hacer que se haga de la mejor forma lo que se ha decidido. ⑧

¿ Quién decide?

Se sugiere ——— Se decide

↓ se decide

Normalmente la alternativa seleccionada y la ejecutada solo tienen un parecido pequeño

El analista tonto y traidor ⁽⁹⁾

Desconoce qué es la implantación

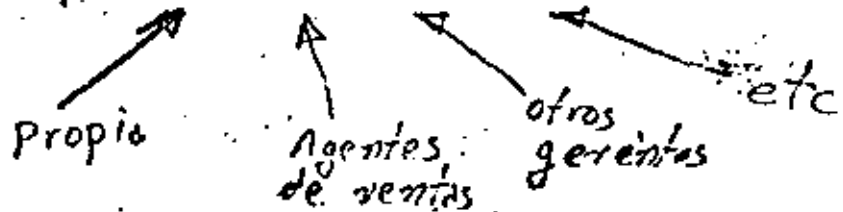
Ha desacreditado al gremio

¿ Como se toman decisiones?

Un decisor rara vez toma decisiones en un momento dado ~~en~~ de manera desapasionada usando la información prevista en un momento dado.

Otras decisiones
✓ información

Existe un gradual desarrollo de opinión ⁽¹⁰⁾



La decisión es la parte final de un proceso.

¿ Cuando inicia?

inicia desde el inicio del estudio

¿ Con quién?

Con todos los que puedan influir en los resultados.

¿ También los obreros, captivos de dueros, etc?

11

Diplomático

Envolver, informar

pasar a 12

Resistencia al cambio.

Implementación ⇒ Algunas pierden prácticas entendibles / confortables

FUNCIÓN DEL PLANEADOR. 12

EN SU LABOR

{	Analista	sistemática formulación del problema.
	Sintetizador	Solucioner, crear

EXPERIENCIA

{	Colaborador	Comunicación entre todos.
	Educador	Saber transmitir y convencer acerca de lo que sueña (usuario prof)
	Mediador	En caso de intereses o competencia, reducir disc.
	Abogado	Ayudando a grupos desfavorecidos.
	Administrador	Cuidar de los recursos que dispone.

Regresar a 11.

13

Resistencia al cambio

La interpretación esta siempre presente y la interpretación es siempre subjetiva y refleja las suposiciones, prejuicios, estereotipos, experiencias pasadas, etc.

El caso del muerto-vivo

Negros supervisores

¿ Es negasta la resistencia al cambio?

14

Factores de la resistencia al cambio a nivel individuo.

Equilibrio

Hábito

Percepción y retención selectiva

Primacia (imágenes)

Dependencia (aceptación)

Tabús, prejuicios, ...

Inseguridad, regresión

A nivel social.

(15)

Conformidad a normas = hábitos indiv.
costumbres

Coherencia

uno afecta a otros.

A nivel empresa < fábrica,
escuelas,

Intereses bastardos

Rechazo a extraños

Sectarismos

(16)

PROCESO DEL CAMBIO

Primera etapa

Unos cuantos pioneros piensan que es importante hacer una reforma importante

La resistencia aparece masiva
Los ponentes son llamados locos, acelerados, despistados, etc.

Segunda etapa

Crece el movimiento

Se identifican fuerzas en pro y en contra, es decisiva la situación
en cuanto a poder y posición de cada uno.
Surgen conflictos directos y golpes bajos.

Se subestima al enemigo, porque se ve al cambio como bueno y necesario.

Esto viene de vida y muerte

Se desconoce hasta donde ira la ⁷⁾oposición.

La supervivencia se va dependiendo del poder que se alcance para abarrotar al enemigo.

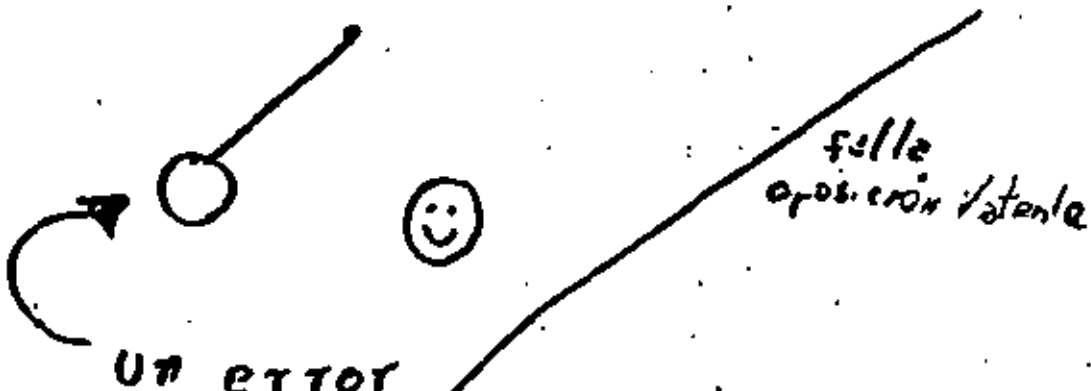
Una estrategia mejor es restarle poder al enemigo.

4 etapa

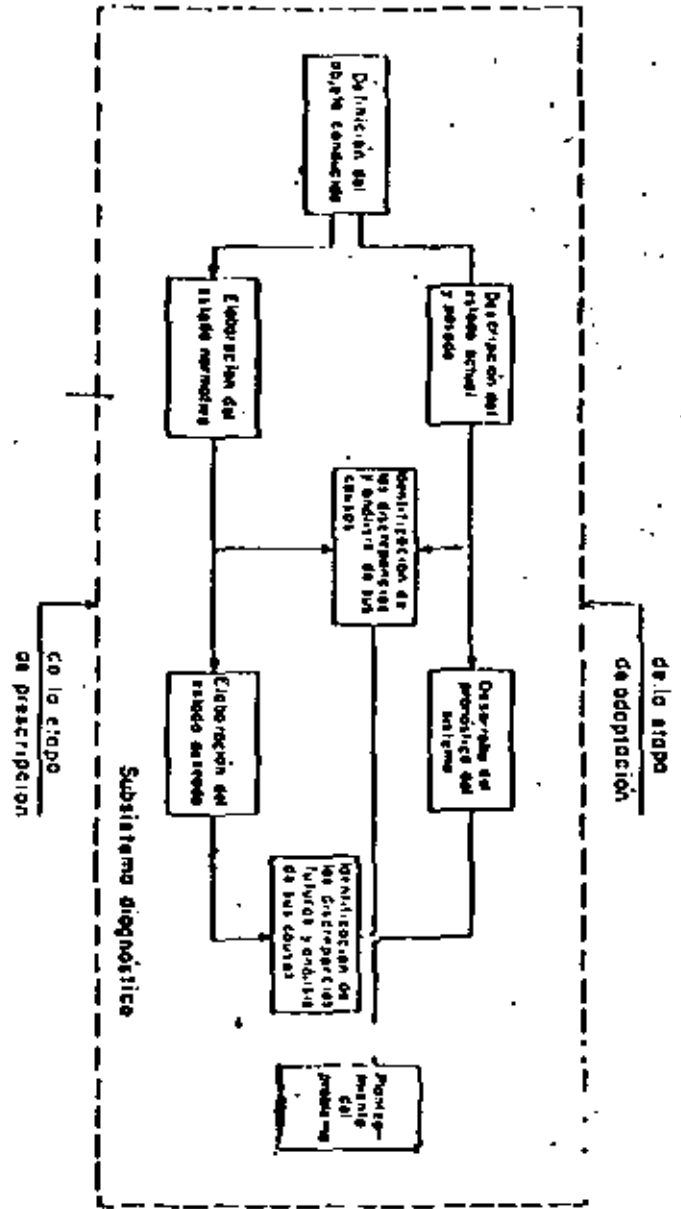
Después de batallas decisivas

Se adquiere el respaldo de los fuertes. Los resistentes se ven como desadaptados, retrógrados, ...

5. etapa



Detalle de la fig. 7. Esquema de la estructura de la etapa de diagnóstico



20

CONTROL. Toma de decisión

Variables bajo control*
Variables incontrolables*** Estimaciones

Relaciones**
Estimaciones

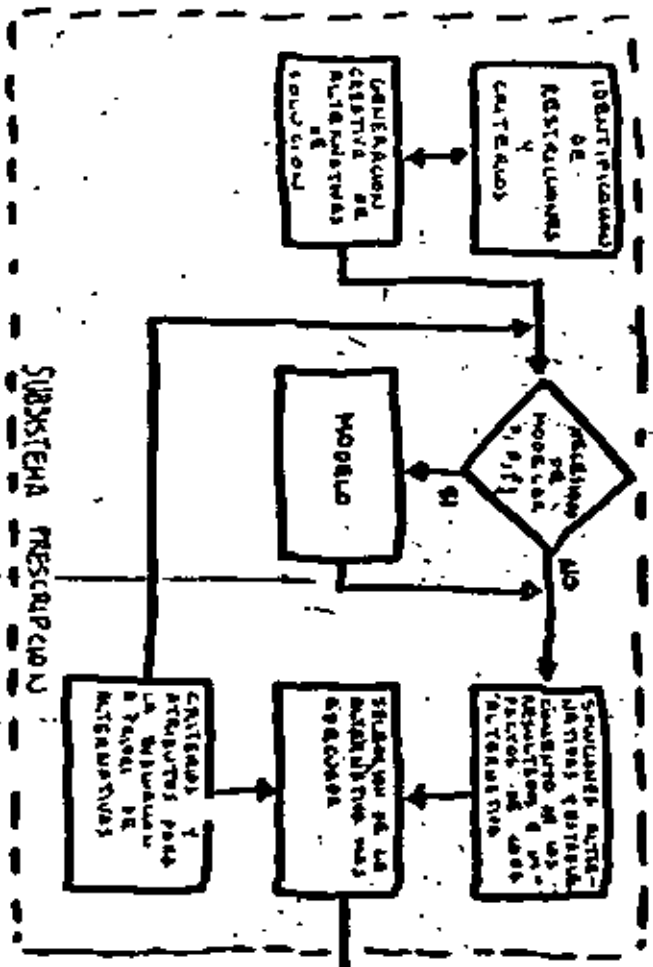
Resultados
Objetivos*

Decisión

Errores }
Cambios } Lo extraño es que no sucediese.

Nuevos problemas.

191



DOCUMENTACION DEL PLAN MAESTRO Y SUBMAESTRO
DOCUMENTACION DE LAS PARTES DE ALTERNATIVAS Y PROBLEMAS
SOLUCIONES PLAN MAESTRO
(Metas, proyectos, prioridades, actividades y sistemas)
SOLUCIONES ALTERNATIVAS
General
Financiera
Materiales
Personales
Procesos
Tecnología
ASIGNACION DE TAREAS Y ASIGNACION DE RECURSOS PARA SU BUENO PLAZO (cuando sea necesario)

Sistema de Toma de Decision

● ASISTENCIA DURANTE LA IMPLANTACION.

Tipos de asistencia

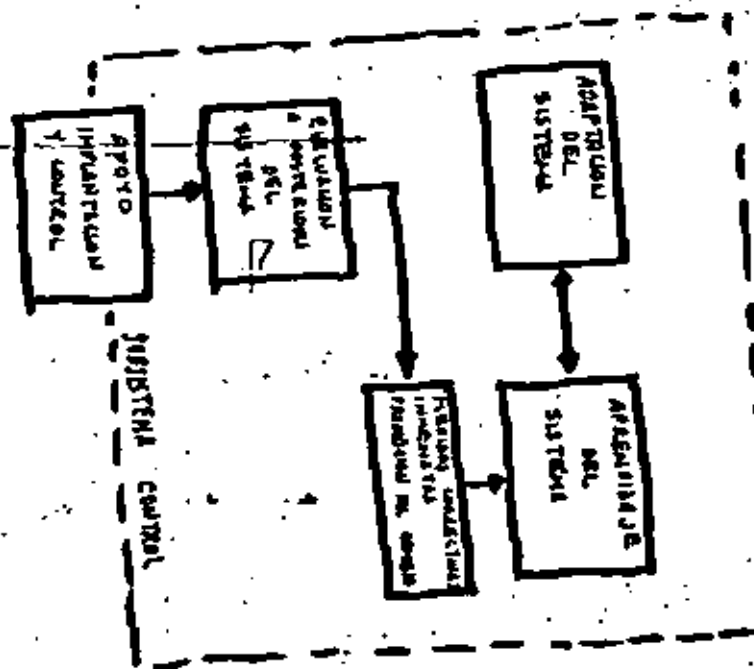
Asistencia total: se acepta toda la responsabilidad

Asistencia parcial: Semejante a la anterior, pero solo para parte del proy.

Asesoría técnica: Se brinda apoyo técnico, pero otro se encarga de ejecutar.

Supervisión técnica: Participación técnica revisando avances, problemas y actividades próximas.

Asistencia por llamada: Únicamente resolviendo preguntas específicas del cliente.





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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA
INGENIERIA DE SISTEMAS

TEORIA DE INVENTARIOS

M. en I. Gustavo Rocha Beltrán

ENERO, 1983.

TEORIA DE INVENTARIOS

1. Los problemas de inventarios.

Uno que resuelve los problemas de inventarios. Un inventario es un recurso inactivo, que podría ser utilizado para producir un beneficio, y que sin embargo se debe mantener, con objeto de satisfacer una demanda.

El problema de hecho, consiste en controlar los inventarios, es decir, tener en existencia los materiales, el personal, el equipo, ó el dinero, según se trate, de manera tal, que se logre un equilibrio entre los costos propios de mantener el inventario y los costos de no poder satisfacer una demanda.

Los costos de llevar el inventario está constituidos por los costos de almacenamiento, los seguros, los impuestos y los correspondientes al deterioro u obsolescencia de los artículos que se mantienen en existencia. Estos costos son crecientes con el aumento del inventario.

En cambio hay costos que disminuyen cuando el inventario aumenta:

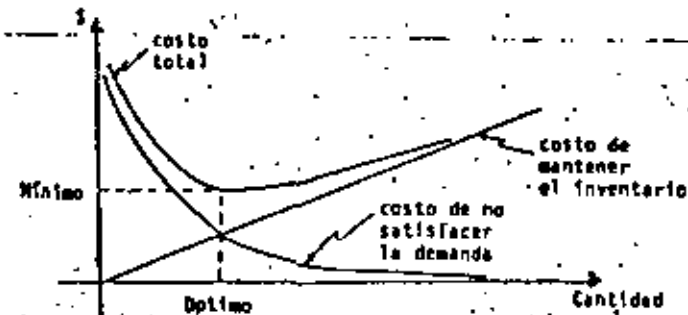
-Los costos asociados con el retraso o la imposibilidad de satisfacer la demanda, y que se traducen en pérdida de ventas ó incluso en pérdida de cliente.

-Los costos de preparar, procesar y realizar una orden de compra (o de

producción), ó los relacionados con la puesta en marcha para la producción de un lote.

-Los costos asociados con el ahorro obtenido por descuentos en el precio de compra o por las economías de escala al producir grandes lotes.

Un problema de inventario supone la existencia de dos tipos de costos: el aumentar el inventario, el primer tipo de costos crece y el segundo decrece. El inventario óptimo es aquel para el cual la suma de estos costos se hace mínima.



En una empresa se tienen siempre intereses en conflicto: Ventas pretende mantener un inventario alto y variado para poder surtir cualquier pedido; Compras también busca tener grandes inventarios, al querer aprovechar los descuentos y fluctuaciones decrecientes en los precios; Producción quiere programar y realizar grandes volúmenes, buscando reducir los costos unitarios; Finanzas, en cambio, se interesa en la rentabilidad de la empresa y en el flujo neto de efectivo, por lo que trata de bajar los inventarios; Ingeniería tiende a disminuir los inventarios, con objeto de evitar las pérdidas por obsolescencia.

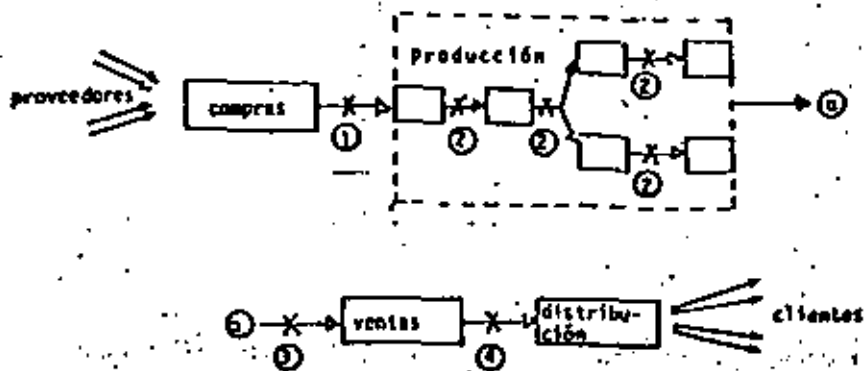
Para la empresa lo que importa es determinar el inventario óptimo de cada artículo, aquel que equilibra los intereses conflictivos de las partes.

Todos los costos descritos anteriormente dependen de la cantidad adquirida (producida) por orden, de la frecuencia de adquisición (producción), o de ambas cosas; de manera tal, que resolver un problema de inventario consiste en determinar cuánto se debe ordenar y cuándo debe ordenarse.

Además de los campos de acción típicos de los problemas de inventario, como son el de compras y el de producción, éstos aparecen también en la formación de recursos humanos, en la determinación del tamaño óptimo de un equipo, o en la determinación de la cantidad de capital circulante que debe haber en una empresa.

No hay dos problemas de inventarios iguales; cada problema debe atacarse de acuerdo con el sistema que se estudia o a la empresa de que se trata; no es lo mismo inventariar tuercas que inventariar computadoras.

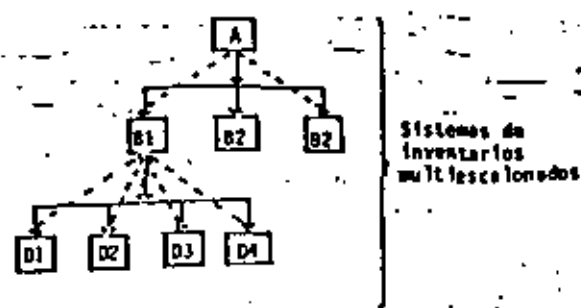
En una empresa industrial más o menos compleja se tienen sistemas de aprovisionamiento a varios niveles. Este es llamado problema de inventario multinivel que supone la minimización del costo total a todos los niveles.



1. Inventarios de materias primas
 - artículos para producción (componentes, subensambles).
 - artículos para oficina
 - herramientas
2. Inventarios de productos en proceso
3. Inventarios de productos terminados
4. Inventarios en tránsito

Un problema común consiste en determinar en qué punto del proceso de producción deben formarse los inventarios, y en qué deben consistir. Cuanto más elaboradas estén las mercancías mantenidas en existencia, menor será el retraso en el suministro a clientes, pero mayores serán los costos de almacenaje; lo contrario, ocurre con las mercancías menos elaboradas (en forma de materias primas en el caso extremo).

Otro problema, relacionado con el anterior es el de un sistema de inventarios multiescalonado, correspondiente a la distribución de un producto. Cuanto mayor sea el número de establecimientos de venta al detalle, mayores serán los gastos de almacenaje, pero menores serán las ventas que se pierden.



Los antecedentes básicos para enfrentar problemas de inventarios, son: Cálculo de probabilidades, procesos Estocásticos, Programación Lineal y no lineal, Programación Dinámica y Álgebra Matricial.

2 Los modelos de inventarios

Aunque el problema de inventarios no ha sido resuelto completamente, las técnicas matemáticas se encuentran en un grado muy elevado de desarrollo y se cuenta ya con modelos que ayudan a resolver problemas simples desde el punto de vista analítico.

Para casos más complejos se utilizan las técnicas de simulación, las que consisten básicamente en imitar el funcionamiento del sistema bajo diferentes condiciones, hasta hallar un grupo de dichas condiciones que conduzca al costo mínimo.

En última instancia, lo que se pretende al mantener un inventario, es satisfacer una demanda, que pueda ser constante o variable en el tiempo, determinística o aleatoria, predecible o impredecible. Por esto, las técnicas de predicción estadística son de gran utilidad para el manejo de modelos de inventarios.

En función del tipo de demanda, los modelos de inventarios se clasifican como sigue:

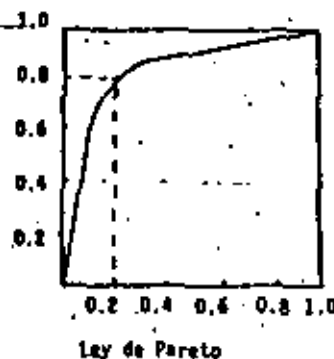
Modelos	Determinísticos	Estáticos: demanda determinística y constante Dinámicos: demanda determinística, variable en el tiempo.
	Estocásticos	Estacionarios: demanda probabilística, constante. Dinámicos: demanda probabilística, variable en el tiempo. Con información incompleta: demanda impredecible.

3 Consideraciones prácticas

La inversión en inventarios depende del tipo de empresa de que se trate: en una empresa petrolera, por ejemplo, los inventarios representan del

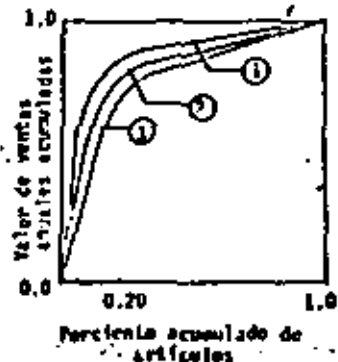
12% al 15% de los activos, mientras que para una cadena de tiendas de autoservicio, la proporción es del 60%.

Supongamos una tienda de autoservicio que maneja 150,000 artículos diferentes. Para resolver el problema de inventarios no vamos a construir 150,000 modelos matemáticos, sino que hacemos uso de una técnica muy antigua, conocida como técnica ABC, y que se fundamenta en la ley de Pareto o ley del 80-20: "el 20% de los agricultores contribuyen con el 80% de la producción agrícola".



"el 20% de los agricultores contribuyen con el 80% de la producción agrícola".

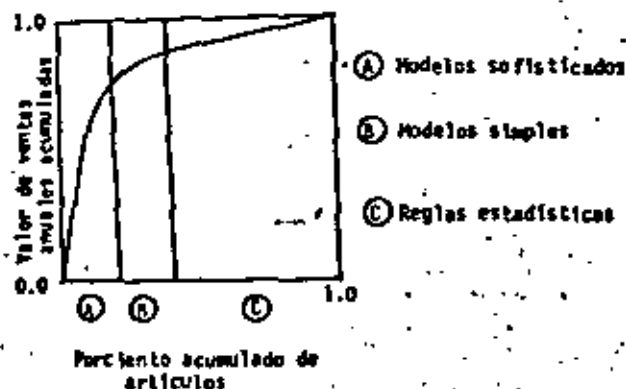
Aunque no en la misma proporción, la mayor parte del valor de las ventas proviene de un reducido número de artículos.



- ① Productos de muy alta tecnología
- ② Enseres domésticos
- ③ Equipo industrial ligero

La técnica ABC clasifica los artículos en función de su valor de utilización, el cual se obtiene multiplicando el volumen de ventas por el precio unitario de venta (o bien por la utilidad unitaria que obtiene la empresa).

Art.	Volumen Ventas	Precio Unitario	Valor de utilización (\$)	Utilización (%)	Clase
1	140	327.00	45,780.00	1.221×10^{-4}	B
2	1204	2.40	28,896.00	7.7056×10^{-5}	C
3	41	13.25	543.25	1.4886×10^{-6}	C
4	627	685.00	429,495.00	1.1453×10^{-3}	A
5	33	127.00	4,191.00	1.1176×10^{-5}	C
150,000	203	200.00	40,600.00	1.0826×10^{-4}	B
			$\Sigma 375410$	1.00	



Para los artículos clase A el análisis debe ser lo más cuidadoso posible, tomando en cuenta todas las variables que intervienen, lo cual con-

duce al manejo de modelos matemáticos sofisticados. Los artículos clase B requieren de modelos matemáticos simples, los cuales proporcionan soluciones satisfactorias. Para los artículos clase C normalmente se usan reglas estadísticas, aunque no deben soslayarse, pues aunque el porcentaje del valor de utilización sea muy bajo, el porcentaje de inversión en inventarios puede ser significativo.

Supongamos para nuestro ejemplo:

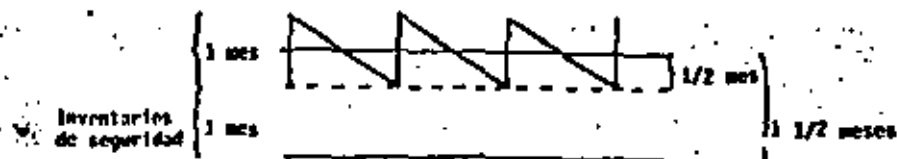
Clase	% artículos	valor de utilización (\$)	periodicidad de pedidos (meses)	inventario de seguridad (meses)
A	20	87	1	1
B	20	9	3	2
C	60	4	12	18

Clase	inventario promedio (meses)	Valor total del inventario (meses)	Inversión en inventarios (meses)
A	≈ 1.5	$0.87 \times 1.5 = 1.31$	0.51
B	3.5	$0.09 \times 3.5 = 0.32$	0.12
C	24	$0.04 \times 24 = 0.96$	0.37

$\Sigma = 2.58 \dots 1.00$

La inversión en inventarios de artículos clase C es del 37%, porcentaje nada despreciable.

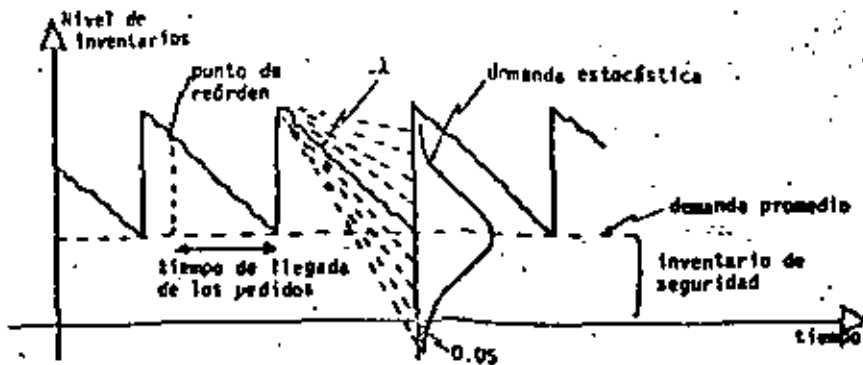
*El inventario promedio se obtiene como sigue:



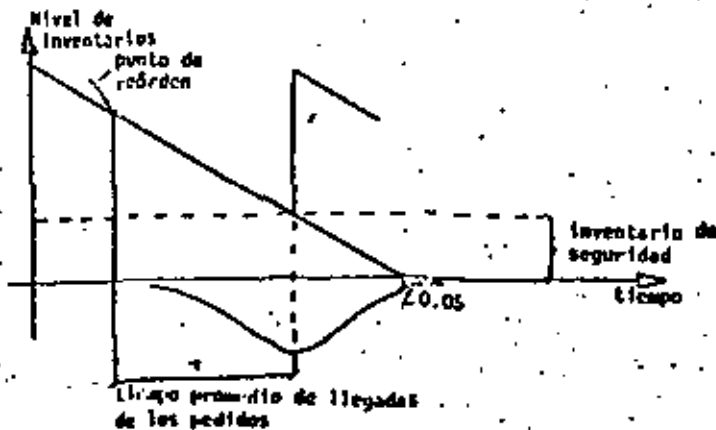
4. Inventario de seguridad

El inventario de seguridad se obtiene sumando los dos colchones de seguridad: el derivado de la demanda y el debido al tiempo de llegada de los pedidos.

Para el inventario de seguridad derivado de la demanda, cuando ésta es aleatoria, se obtiene eligiendo un nivel de servicio, por ejemplo del 95%, lo que significa que en el 5% de los casos, no se podrán surtir pedidos a los clientes.

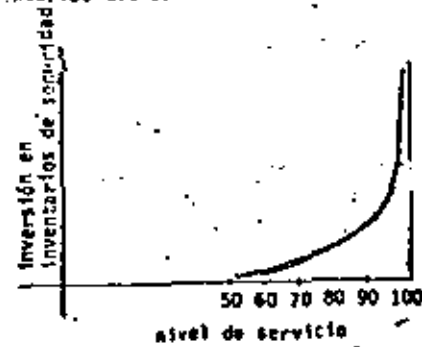


Inventario de seguridad por incertidumbre en el tiempo de entrega: Cuando el tiempo de llegada de los pedidos es estocástico, debe construirse un colchón de seguridad que tiene por objetivo absorber esta incertidumbre.



En los modelos determinísticos, el inventario de seguridad no existe.

El aumento de una unidad en el nivel de servicio es recomendable para n veces menores del 95%, para niveles mayores es antieconómico, pues la inversión en inventarios tiende a incrementarse.



5. Doctrinas de operación

Resolver el problema de inventario consiste en responder a dos preguntas: 1. ¿cuánto ordenar? y 2. ¿cuándo ordenar?

En el caso en el que la demanda sea estocástica estacionaria, la primera pregunta suele contestarse de una de dos formas:

1. Se ordenará una cierta cantidad Q , fija.
2. Se ordenará una cantidad tal, que el inventario alcance un nivel R .

La segunda pregunta se responde usualmente de una de dos maneras:

1. Se colocará una orden cada cierto tiempo t .
2. Se colocará una orden cuando el inventario alcance un nivel r .

Las cantidades Q , R , r , t son respectivamente, el tamaño del lote a ordenar, el nivel máximo del inventario, el nivel de reorden y el período de revisión o de reorden. Contestar a las dos preguntas planteadas de acuerdo a lo expuesto anteriormente, equivale a establecer políticas de operación, que se obtienen combinando las literales mencionadas: (Q, r) , (P, r) , (R, t) , etc. (En cada política se deben incluir el menos una mayúscula y una minúscula).

Puede observarse claramente, que las doctrinas de operación para un sistema de inventarios, pueden ser de dos tipos:

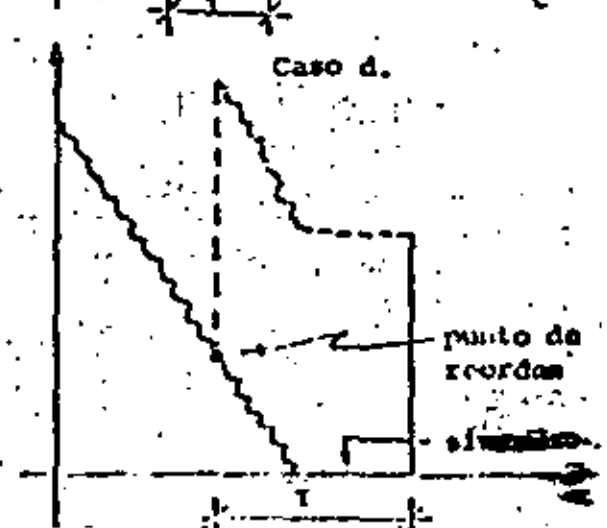
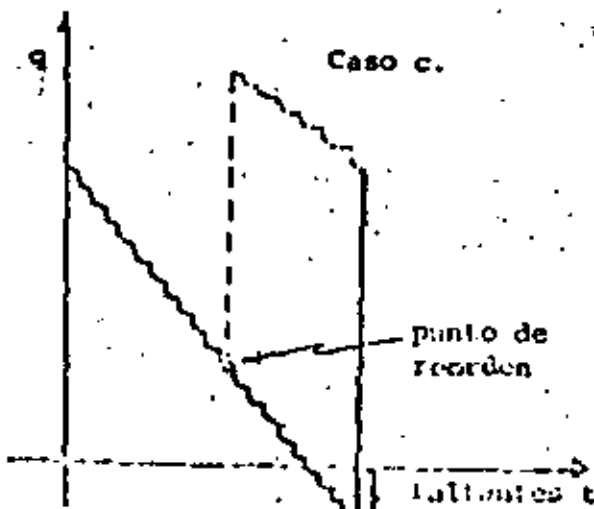
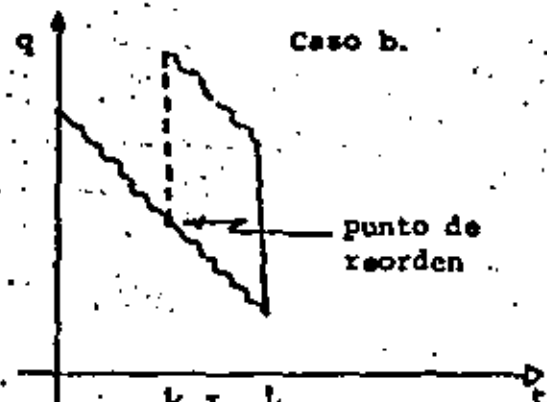
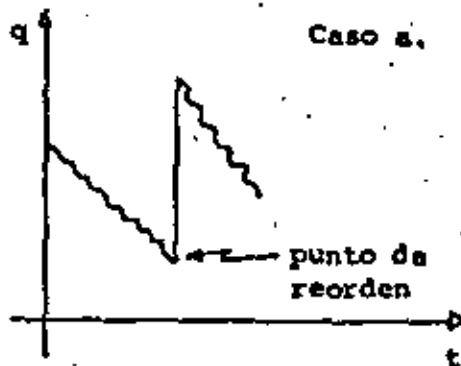
1. Políticas de revisión continua, en la que se revisa continuamente el nivel de existencias, registrando cada pedido y cada venta; se toman decisiones en el momento y se colocan pedidos cuando se ha alcanzado un nivel r , predeterminado.
2. Políticas de revisión periódica, en la que cada cierto tiempo t , predeterminado, se revisa el nivel de existencias y en función de esto se toma la decisión de cuánto ordenar.

Los artículos clase A requieren de revisiones continuas, en cambio los de clases B y C usualmente solo requieren de revisiones periódicas.

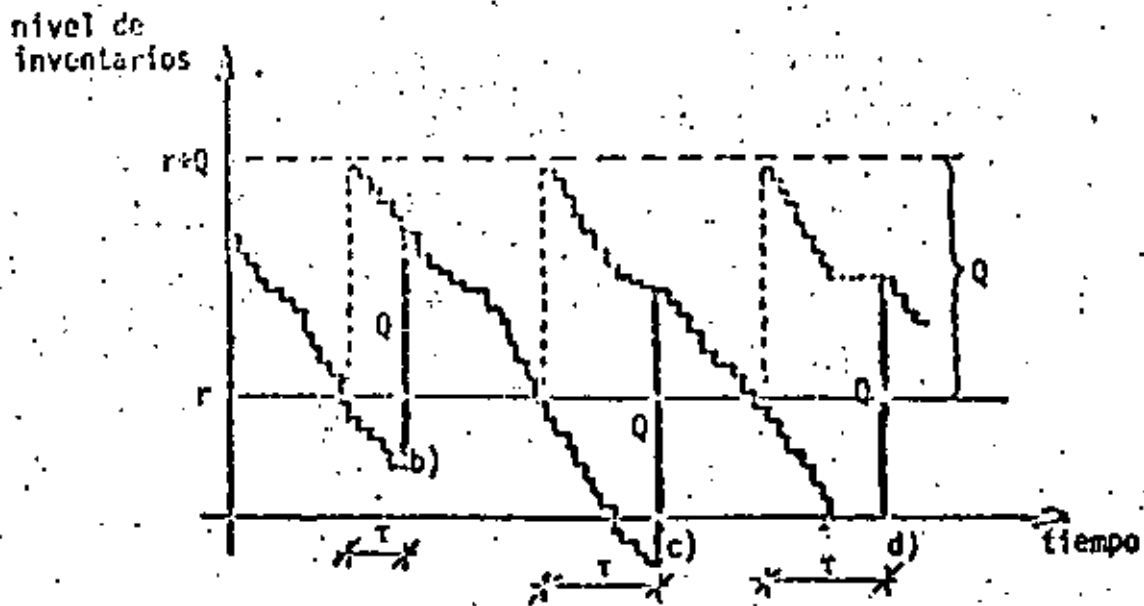
Cualquiera que sea la política que se adopte, se pueden presentar cuatro casos:

- a) Cuando el tiempo de aprovisionamiento es nulo.
- b) Cuando se pretende satisfacer totalmente la demanda.
- c) Cuando se permiten faltantes (backorders).
- d) Cuando puede haber ventas perdidas.

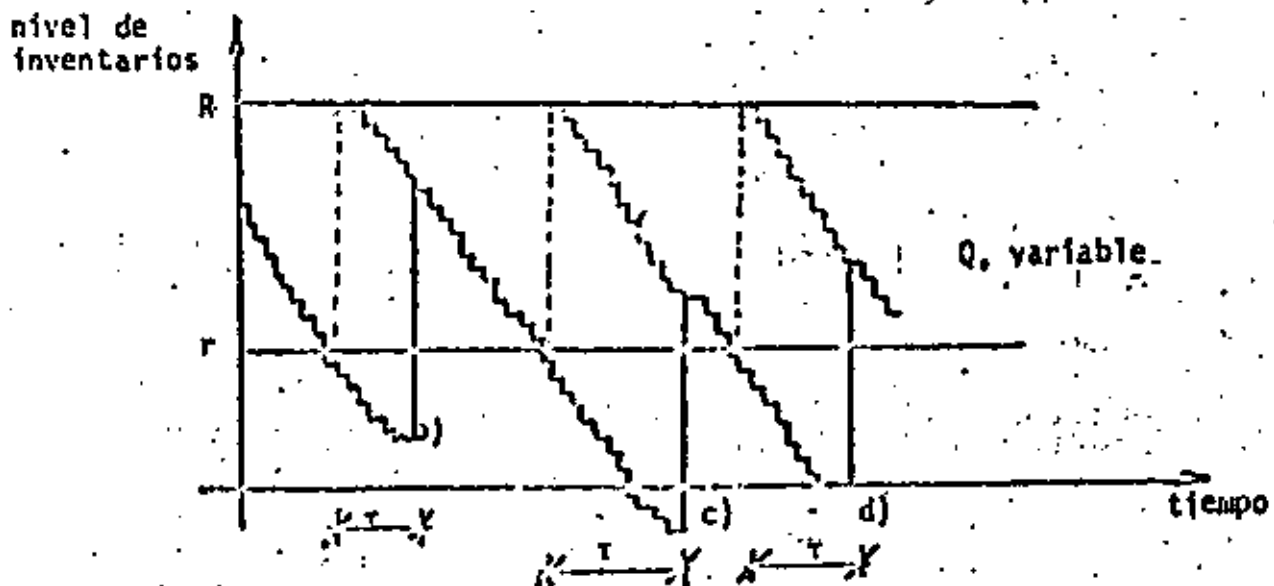
Los casos b, c y d suponen un tiempo de aprovisionamiento distinto de cero, y que puede ser una constante o una variable aleatoria.



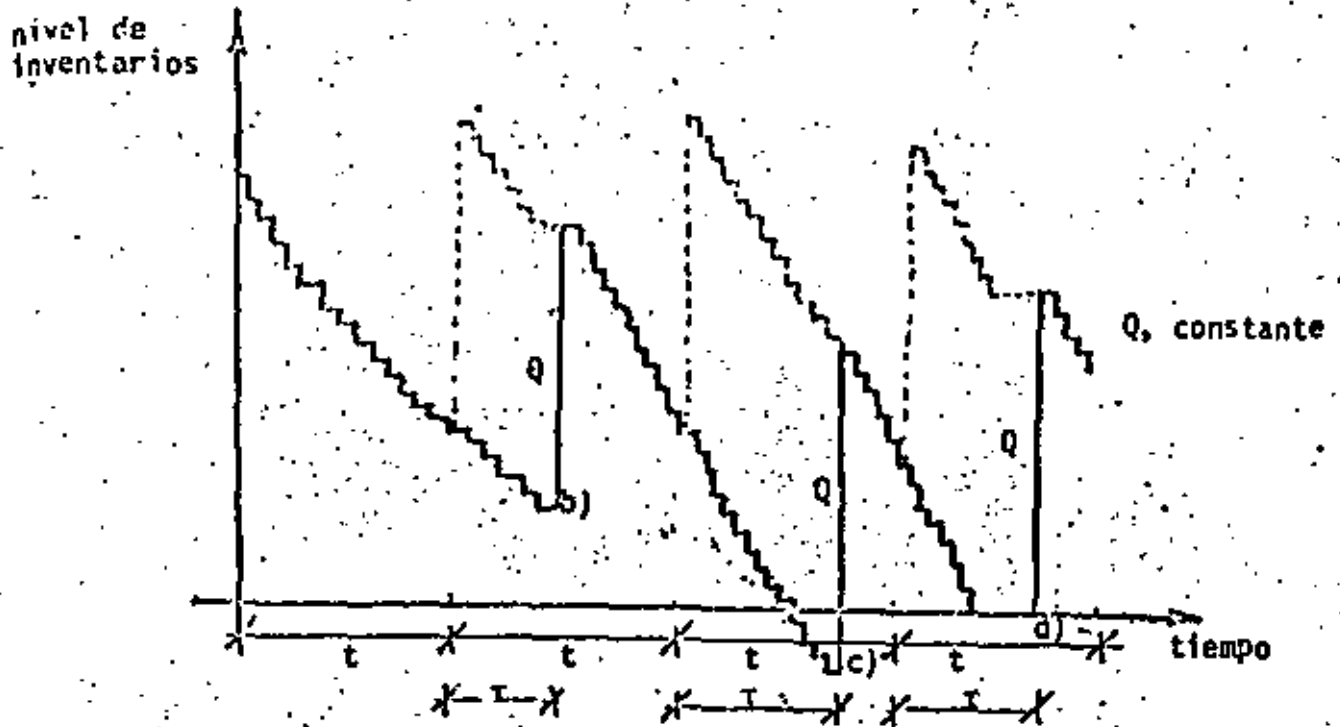
Política (Q, r) : Una vez que se alcanza un nivel r predeterminado, se coloca un pedido de tamaño Q . 7



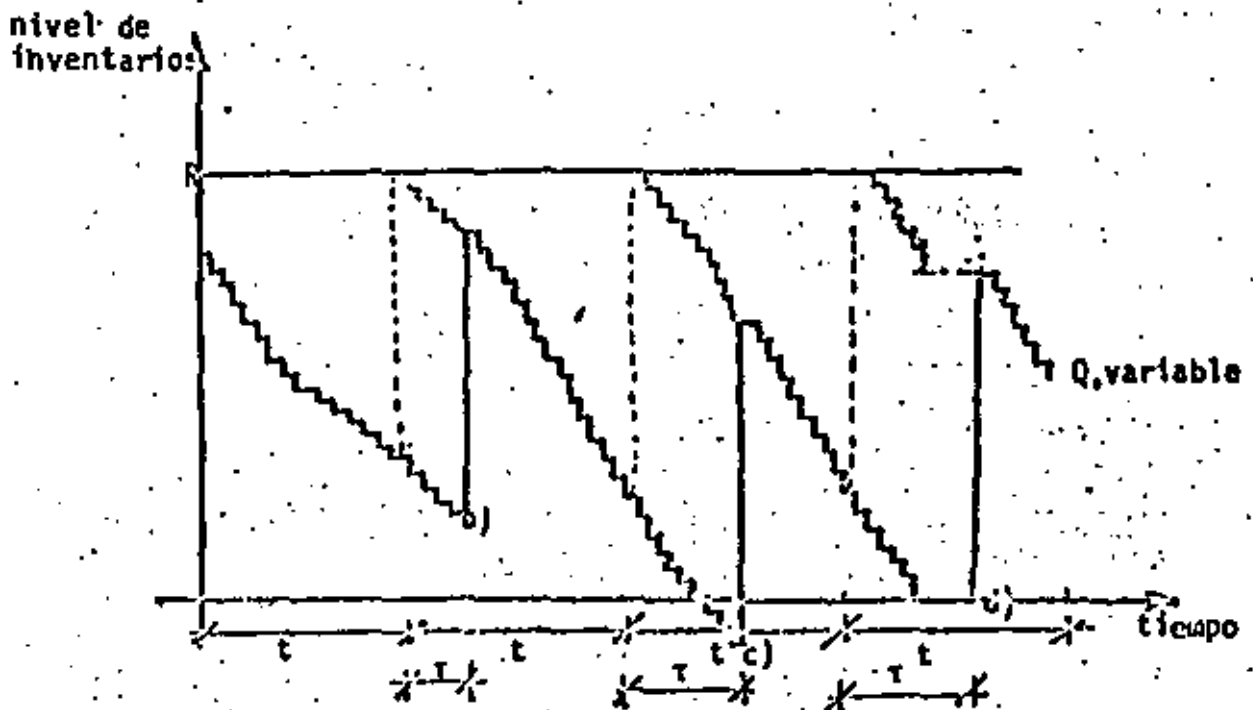
Política (R, r) : Una vez que se alcanza un nivel r predeterminado, se coloca un pedido de tamaño tal, que se alcance un nivel R .



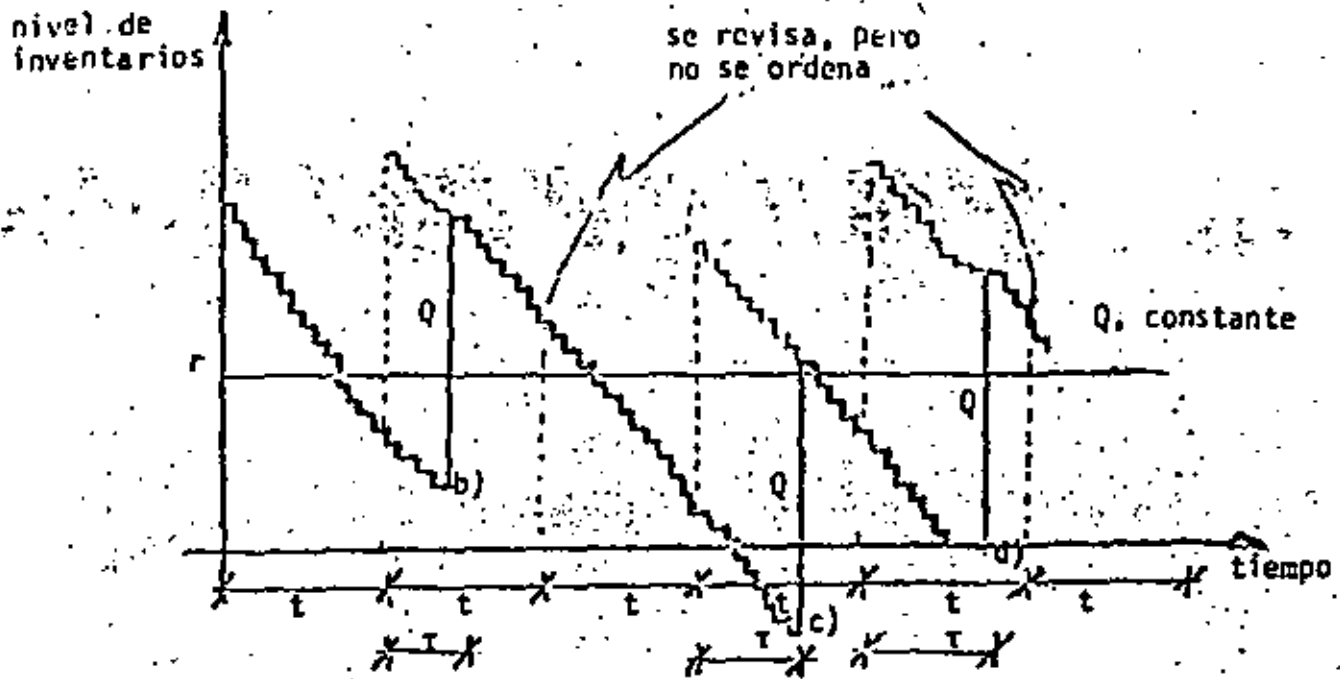
Política (Q, t) : Cada cierto tiempo t predeterminado, se coloca un pedido de tamaño Q . 8



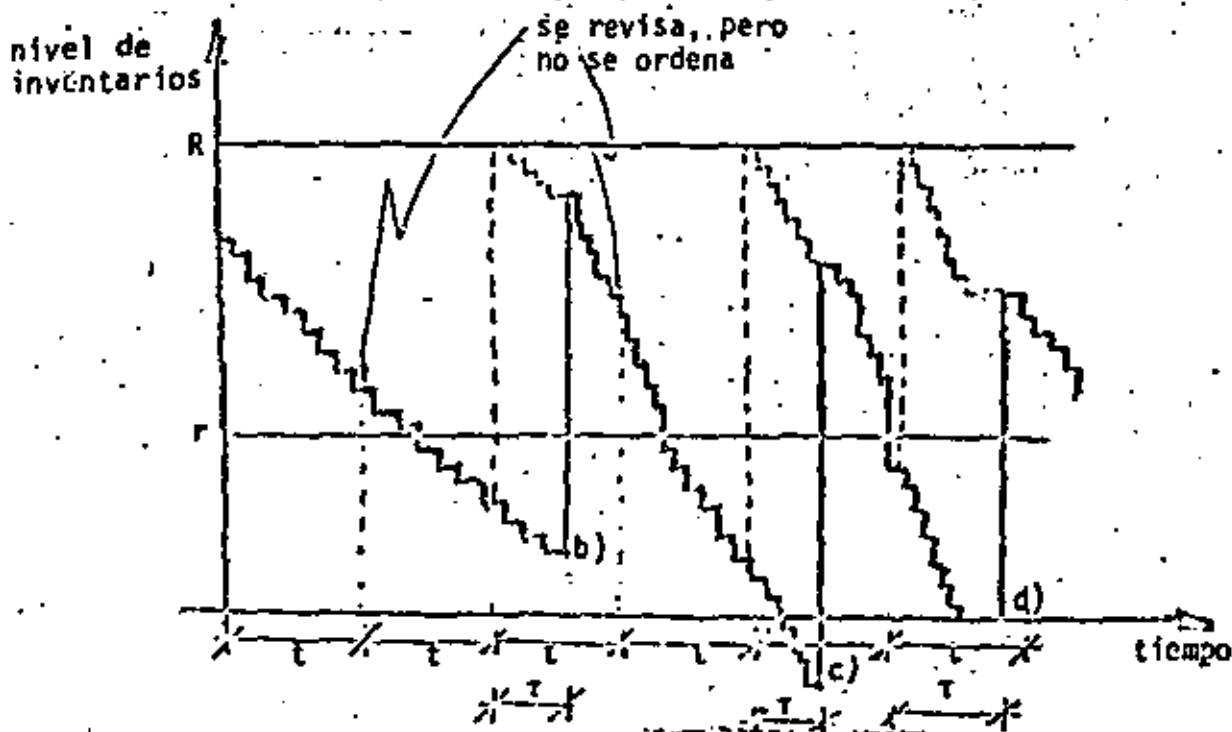
Política (R, t) : Cada cierto periodo t predeterminado, se coloca un pedido de tamaño tal, que se alcance el nivel R .



Política (Q, r, t) : Cada cierto período t predeterminado, se revisa el nivel de existencias; si se ha alcanzado un nivel inferior o igual a r se coloca un pedido de tamaño Q .



Política (R, r, t) : Cada cierto período t predeterminado, se revisa el nivel de existencias; si se ha alcanzado un nivel inferior o igual a r , se coloca un pedido de tamaño tal, que se alcance el nivel R .





**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

RUBEN TELLEZ SANCHEZ

ENERO, 1983.

①

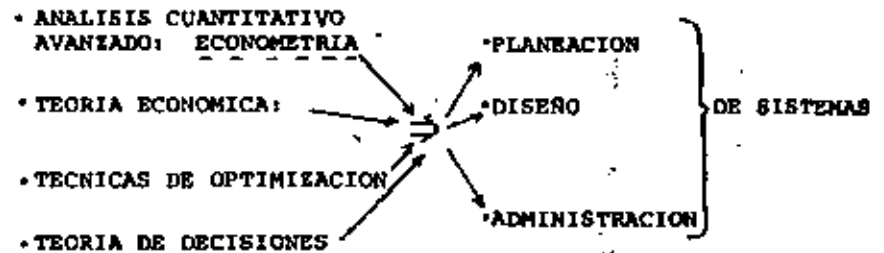
CONTENIDO

- 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:

ANALISIS DE SISTEMAS

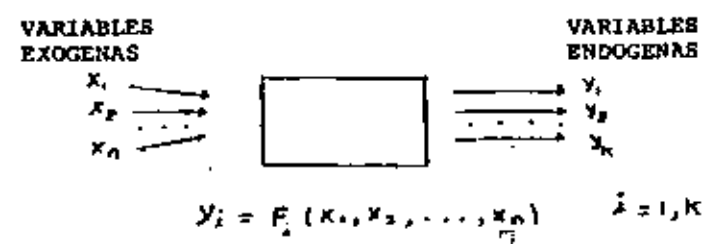


- 3. Estas notas son una síntesis introductoria a una de las herramientas del análisis de sistemas:
LA ECONOMETRIA

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 examen 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.

- 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.

3

2. EL ENFOQUE ECONOMETRICO.

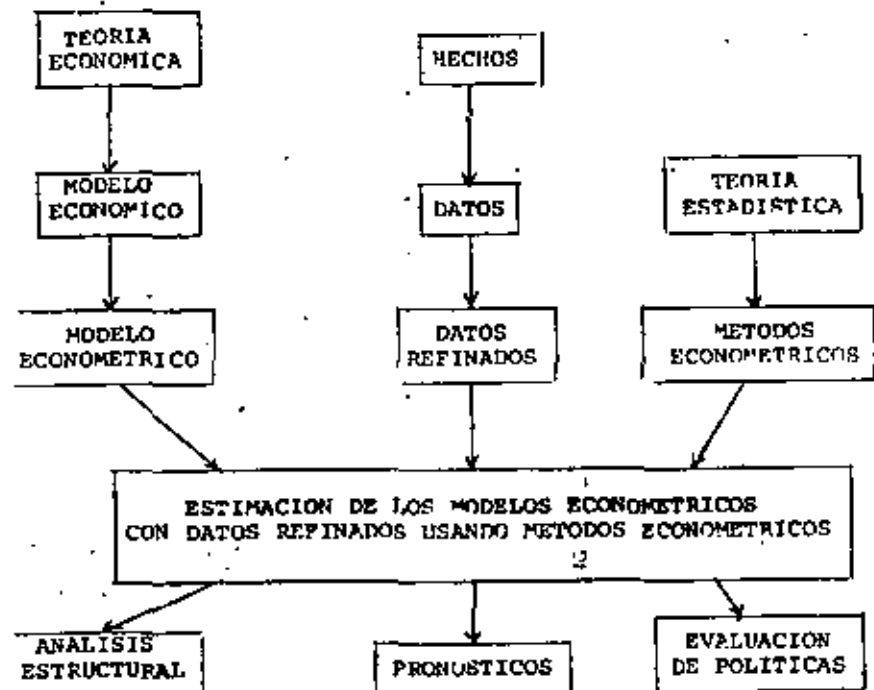
1. En el enfoque econométrico se combina:

- 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.
- Pronosticar, 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.

EL ENFOQUE ECONOMETRICO



5. Ejemplo

Como ejemplo considérase un micro modelo para la determinación de la oferta y demanda de un bien agrícola, consistente en las siguientes ecuaciones:

$$q^D = \gamma_1 P + \beta_1 I + \delta_1 + \xi^D$$

$$q^O = \gamma_2 P + \beta_2 R + \delta_2 + \xi^O$$

$$q^D = q^O$$

donde

q^D = cantidad demandada de un bien particular

q^O = oferta del bien

P = precio

I = ingreso

R = cantidad de lluvia

ξ^D, ξ^O = términos de disturbancia

La tercera ecuación es una condición de equilibrio que debe eliminarse para obtener la forma estructural del modelo. Sea q la cantidad de equilibrio, esto es, el valor común de q^D y q^O ; así, se tiene que el modelo queda expresado en forma estructural como sigue:

3. MODELOS ECONOMETRICOS

1. Un modelo algebraico, para propósitos de la econometría, representa a un sistema del mundo real por un sistema de ecuaciones, por ejemplo si es un modelo lineal, sus expresiones son: $Y \Gamma + X B = O$

2. Un modelo econométrico es un modelo algebraico que incluye variables aleatorias, su forma estructural lineal es:

$$Y \Gamma + X B = \epsilon$$

donde:

Y , vector de variables endógenas.

X , vector de variables exógenas.

Γ , matriz de parámetros asociados con Y .

B , matriz de parámetros asociados con X .

ϵ , vector de términos estocásticos de disturbancia.

3. Las componentes del vector ϵ en cada ecuación, explican:

- Variables omitidas en el modelo.
- Insuficiencias de la relación lineal propuesta.
- Errores en la medición de las variables.

4. Para fines de estimación el modelo econométrico se expresa en la forma reducida:

$$y = -X B \Gamma^{-1} + \epsilon \Gamma^{-1}$$

$$y = X \Pi + \mu$$

donde:

$$\Pi = -B \Gamma^{-1}, \quad \mu = \epsilon \Gamma^{-1}$$

$$[q \ p] \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -\gamma_1 & -\gamma_2 \end{bmatrix} + [I \ r \ 1] \begin{bmatrix} -\beta_1 & 0 \\ 0 & -\beta_2 \\ -\delta_1 & -\delta_2 \end{bmatrix} = [\epsilon^D \ \epsilon^0] \quad (5)$$

Expresando las variables endógenas q y p en función de las variables exógenas r e I obtenemos:

$$[q \ p] = [I \ r \ 1] \begin{bmatrix} \frac{\gamma_2 \beta_1}{\gamma_2 - \gamma_1} & \frac{\beta_1}{\gamma_2 - \gamma_1} \\ \frac{-\gamma_1 \beta_2}{\gamma_2 - \gamma_1} & \frac{-\beta_2}{\gamma_2 - \gamma_1} \\ \frac{\gamma_2 \delta_1 - \gamma_1 \delta_2}{\gamma_2 - \gamma_1} & \frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_2 - \gamma_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\gamma_2 \epsilon^D - \gamma_1 \epsilon^0}{\gamma_2 - \gamma_1} & \frac{\epsilon^D - \epsilon^0}{\gamma_2 - \gamma_1} \end{bmatrix}$$

$$[q \ p] = [I \ r \ 1] \begin{bmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} \\ \pi_{21} & \pi_{22} \\ \pi_{31} & \pi_{32} \end{bmatrix} + [u_1 \ u_2]$$

Básicamente el problema de identificación consiste en determinar si es posible conocer los parámetros estructurales Γ, β , a partir de los coeficientes de la forma reducida Π .

4. DATOS Y DATOS REFINADOS

1. Los datos relativos a un estudio particular resumen los hechos concernientes al fenómeno bajo investigación.
2. Un modelo econométrico requiere, para su estimación, datos de todas las variables incluidas en el modelo.
3. La identificación de fuentes de información confiables, constituye un aspecto fundamental de la captación de datos.
4. Los datos empleados en los modelos econométricos pueden ser de series de tiempo, sección cruzada, cualitativos o cuantitativos.
5. En general los datos no están disponibles o no están disponibles en la forma deseada.
6. Los datos deben ser manipulados para adecuarlos a los requerimientos del modelo econométrico.
7. Formas de manipular datos son:
 - Interpolación.
 - Extrapolación.
 - Hacer consistentes las series de períodos base diferentes.
 - Alisamiento o eliminación de componentes cíclicos.

5. MÉTODOS ECONOMETRICOS.

1. Los métodos econométricos nos permiten estimar los modelos econométricos usando datos refinados.

2. En el modelo de regresión lineal, de una sola ecuación dado por : $y = X\beta + u$
 $n \times 1$ $n \times k$ $n \times 1$ $n \times 1$

los supuestos clásicos alternativos respecto a u son:
 a) $E(u) = 0$, $COV(u) = \sigma^2 I$ ó b) $u \sim N(0, \sigma^2 I)$
 que conducen a utilizar los métodos de máxima verosimilitud mínimos cuadrados, respectivamente.

3. Los estimadores que se pueden generar a partir de estos métodos resultan ser:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'y, \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-k} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

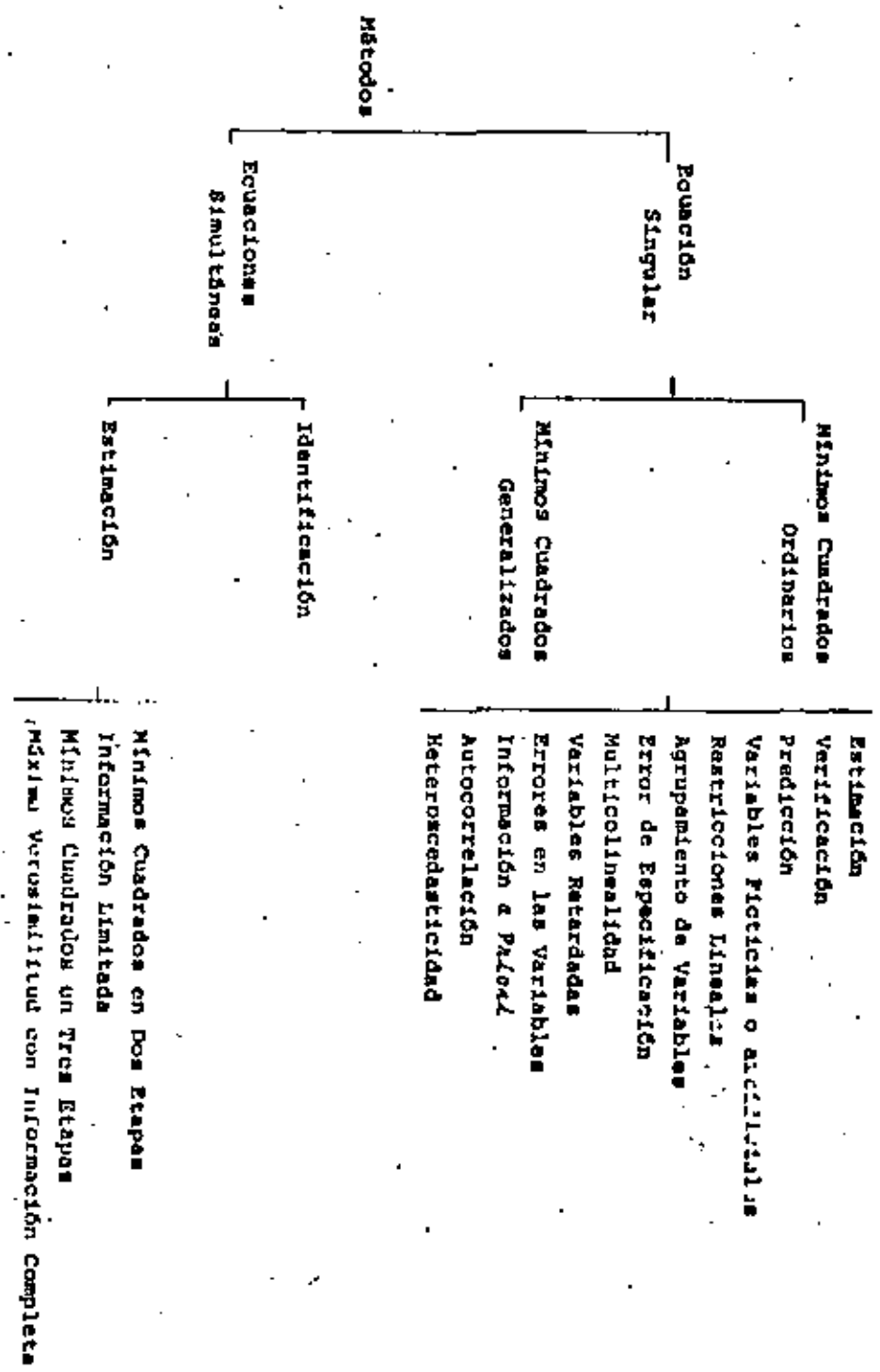
que son estimadores insesgados, de varianza mínima y consistentes.

4. Sin embargo en la econometría empírica se presentan los siguientes problemas:

- Multicolinealidad.
- Heteroscedasticidad.
- Correlación serial.
- Variable dependiente cualitativa.
- Variables retrasadas.
- Error de especificación.
- Errores en variables.
- Cambios estructurales.

los métodos econométricos nos permiten responder a estos problemas, mediante un proceso de diagnóstico-tratamiento.

Fig. 2. Métodos Económétricos



6. IDENTIFICACION Y ESTIMACION DE MODELOS

7

1. Los modelos multicuacionales lineales plantean problemas específicos del análisis econométrico que comprenden: identificación de modelo, la estimación de los parámetros, y sus consecuencias sobre las propiedades predictivas del modelo y las propiedades estadísticas de los estimadores.

IDENTIFICACION DE MODELOS

2. El Problema de Identificación consiste en contar con suficiente información "apriori" para calcular los parámetros estructurales B y Γ a partir de los parámetros de la forma reducida Π y de Ω , matriz de varianzas-covarianza de la forma reducida:

$$y = x\Pi + u, E(u'u) = \Omega \rightarrow y\Gamma + XB = \epsilon, E(\epsilon'\epsilon) = \Sigma$$

se pueden presentar tres casos:

a) Subidentificación. En este caso es imposible determinar B y Γ a partir de Π y de Ω por no contar con suficiente información "apriori".

La forma más común de la información "apriori" es aquella en que se sabe que ciertos elementos de B y Γ son ceros, implicando que ciertas variables aparecen en ciertas ecuaciones y no aparecen en otras.

b) Identificación exacta. En este caso los parámetros estructurales están dados como una función única de los parámetros de la forma reducida.

c) Sobreidentificación. Se presenta cuando hay mas de una manera de expresar los parámetros estructurales en función de los parámetros de la forma reducida.

3. Para resolver el problema de identificación debe considerarse que los datos están constituidos por los kg elementos de Π y los $g(g+1)/2$ elementos diferentes de Ω , la matriz de varianzas-covarianza de la forma reducida, así el número total de datos es:

$$G = gk + g(g+1)/2$$

El número de incógnitas lo constituye:

g elementos de Γ ,

gk elementos de B,

$g(g+1)$ elementos de Σ .

en consecuencia el número total de incógnitas es:

$$U = g^2 + gk + \frac{g(g+1)}{2} - g.$$

g elementos pueden conocerse mediante la normalización de las ecuaciones. La diferencia es: $U - G = g^2 - g = g(g-1)$, existe un exceso de incógnitas, por lo que no es posible determinar los parámetros estructurales a partir de los parámetros de la forma reducida si no se cuenta con información adicional, que generalmente se presenta como restricciones a los elementos de las matrices Γ , B. Otra forma consiste en considerar que algunos elementos de esas matrices son cero. También pueda tenerse información adicional respecto a los valores de los elementos de Σ y asumir que ciertas variancias y covariancias son ceros, o considerar una mezcla de restricciones respecto a Γ , B y Σ .

4. Las formas más comunes de resolver el problema de identificación son:

a) Identificación por restricciones de ceros en el caso no estocástico: $y\Gamma + XB = 0$

b) Identificación por restricciones lineales en el caso estocástico: $y\Gamma + XB = \epsilon, E(\epsilon'\epsilon) = \Sigma$

Estas formas de atacar el problema de identificación conducen a establecer condiciones necesarias y suficientes para que el problema tenga solución.

ESTIMACION DE MODELOS

5. El sistema de ecuaciones a ser estimado es:

$$y_i \Gamma + X_i \beta = \epsilon_i, \quad i = 1, n$$

con los grupos de suposiciones alternativas:

- a) $E(\epsilon_i) = 0, \forall i$
 $Cov(\epsilon_i) = \Sigma, \forall i$
 $E(\epsilon_i \epsilon_j) = 0, \forall i, j, i \neq j$
- b) $\epsilon_i \sim N(0, \Sigma)$
 $E(\epsilon_i \epsilon_j) = 0, \forall i, j, i \neq j$

6. Existen tres alternativas de enfoque para estimar los sistemas de ecuaciones simultáneas:

- a) El enfoque primitivo. Cada ecuación del sistema se estima en forma independiente de las restantes sin considerar las variables endógenas y exógenas no incluidas en la ecuación, se ignora cuales de las variables explicativas en la ecuación son endógenas y cuales son exógenas. Se utilizan mínimos cuadrados ordinarios y se obtienen estimadores sesgados e inconsistentes.
- b) Información limitada. Cada ecuación del sistema se estima en forma individual pero considerando las variables endógenas y exógenas no incluidas en la ecuación, se establecen distinciones entre las variables explicativas. Implica el uso de mínimos cuadrados indirectos, mínimos cuadrados bivariados y estimadores de clase K, incluye también el método de maximización de verosimilitud con información limitada.
- c) Información completa. Considera simultáneamente todas las ecuaciones del sistema para obtener los estimadores. Da origen al método de mínimos cuadrados de tres etapas y al método de maximización de verosimilitud con información completa.

7. APLICACIONES

1. La econometría es importante para el análisis de sistemas porque permite al analista determinar la naturaleza precisa de: a) funciones de producción que describen el conjunto de alternativas tecnológicas que pueden ser elegidas, b) funciones de costos y de demanda que ayudan al analista a determinar que nivel de diseño podría seleccionarse, c) modelos de sistemas que describen la interdependencia causal entre variables y que permiten determinar como se pueden alcanzar los objetivos en forma más efectiva.

2. Las siguientes son algunas de las funciones de producción utilizadas en econometría:

- a) Función de producción de Cobb-Douglas: $y = AL^a K^b$
- b) Función de producción de elasticidad de sustitución constante (ESC): $y = A[\delta L^{-\rho} + (1-\delta)K^{-\rho}]^{-1/\rho}$
- c) Función de producción de Nerlove-Ringstad:
 $y^{1+\epsilon} = AL^a K^b$
- d) Función Generalizada de ESC:
 $y = A\{[\delta_1 x_1^{-\rho_1} + (1-\delta_1)x_2^{-\rho_1}]^{-\rho_1/\rho_1} + [\delta_2 x_3^{-\rho_2} + (1-\delta_2)x_4^{-\rho_2}]^{-\rho_2/\rho_2}\}^{-1/\rho_3}$

3. La estimación de funciones de costo se ha hecho a partir de las siguientes relaciones:

- a) $C = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3$
- b) $C = A (\omega^a r^b y)^{1/(a+b)}$
- c) $C = (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega_i^{1/2} \omega_j^{1/2}) y$
- d) $C = (a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \ln \omega_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \ln \omega_i \ln \omega_j) y$

4. Ejemplos de funciones de demanda son las siguientes:

$$a) X = a_1 + \sum_{i=1}^n b_i P_i + c_1 I + u$$

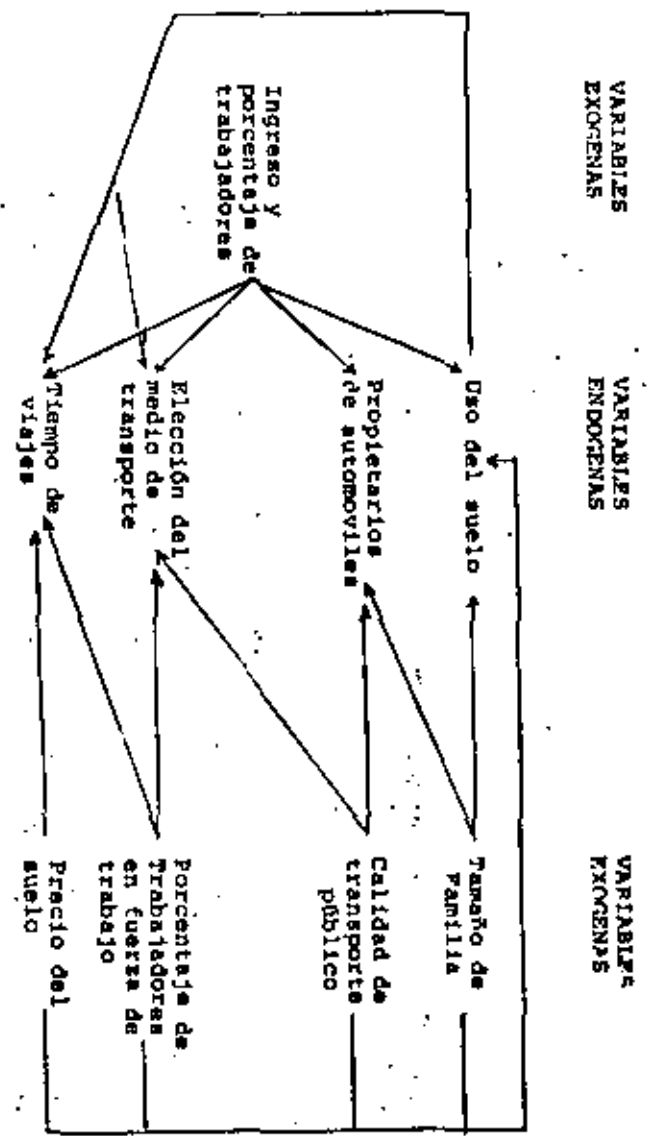
$$b) X = a_1 + \sum_{i=1}^n b_i \ln P_i + c_1 \ln I + u$$

$$c) X = A_1 \prod_{i=1}^n P_i^{b_i} I^c e^u$$

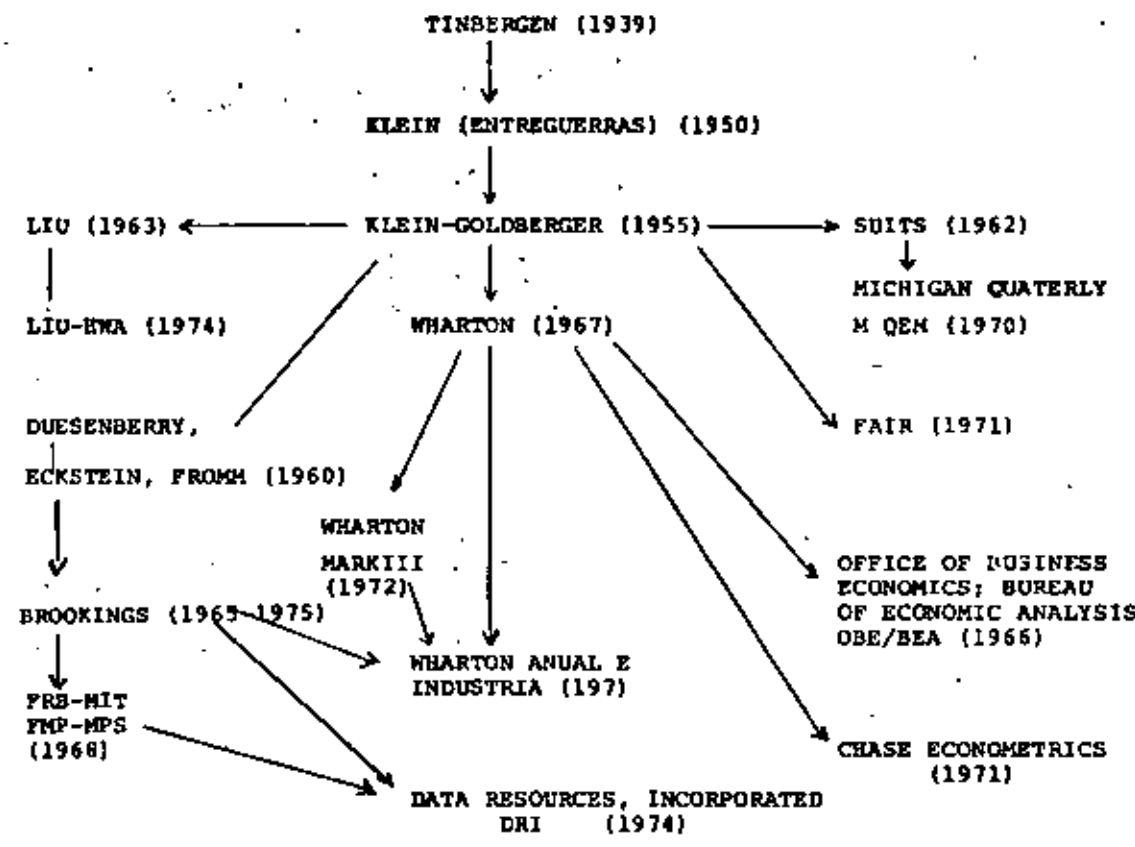
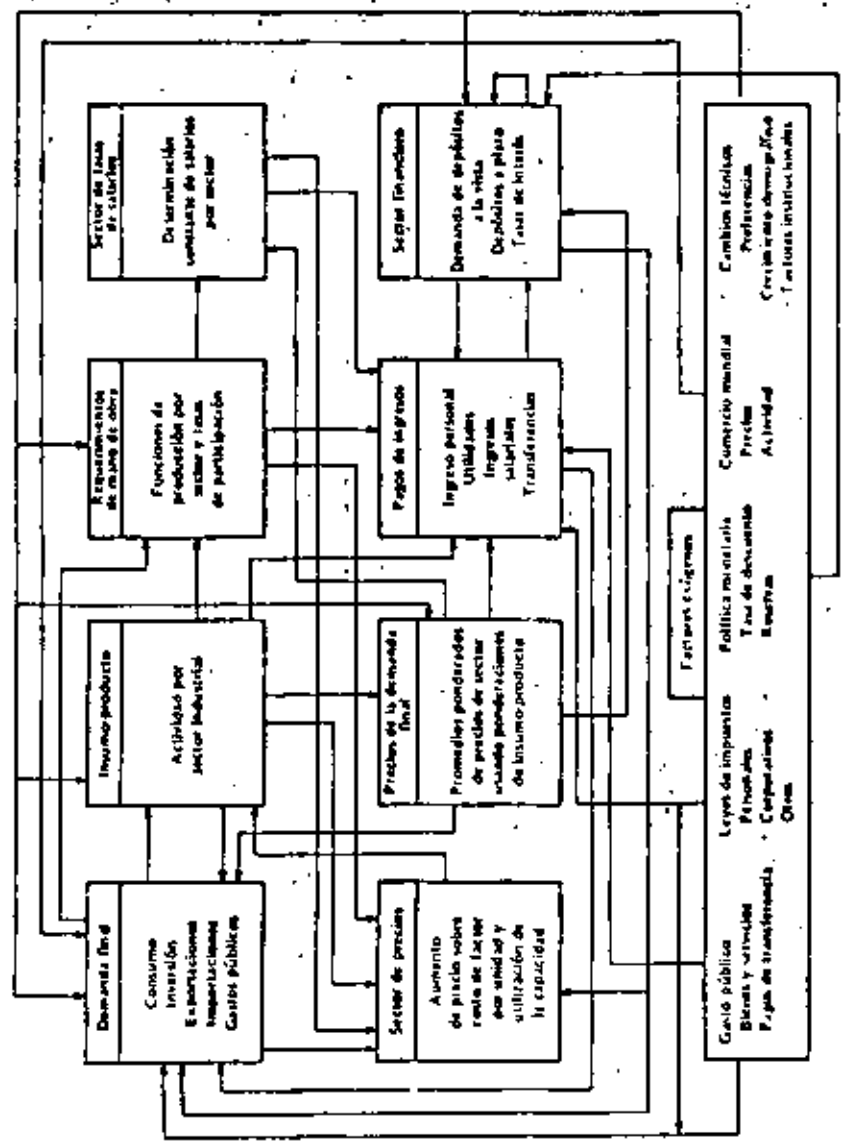
5. El trabajo más avanzado en modelos econométricos de sistemas de ingeniería ha sido dado en el transporte. Para ilustrar tales modelos se muestra el diagrama causal adjunto. Modelos de este tipo pueden ser probados, comparados con otros, y eventualmente validados. Siempre que se disponga de tales modelos validados, se pueden utilizar en forma efectiva para orientar el sistema hacia su nivel óptimo de comportamiento, el objetivo de todos los análisis de sistemas.

6. Las primeras y todavía más importantes aplicaciones de la econometría son los modelos macroeconómicos. Tales modelos generalmente utilizan la teoría de Keynes para la determinación del ingreso nacional, consumo e inversión, y otras variables macroeconómicas. Tales modelos son utilizados para propósitos de análisis estructural (v.gr. determinación de multiplicadores), pronósticos (v.gr. pronósticos sobre el producto nacional bruto), y evaluación de políticas (v.gr. para analizar el impacto del gasto del gobierno y los programas de impuestos). Una familia de modelos macroeconómicos de la economía norteamericana se muestra en el diagrama adjunto.

Diagrama causal de flechas ilustrando el modelo econométrico de Kahn para la demanda de transporte.



UNA FAMILIA DE MODELOS MACROECONOMETRICOS DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA



(11)

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 Beltrán del Río, (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:

$$\Delta LP_t = -0.003 + 0.6 (\Delta LM_t - \Delta LY_t) + 0.156 \Delta LW_t + 0.26 \Delta (LP_t + LT_t) + 0.003 \Delta \pi_t^e$$

$$R^2 = 0.093$$

$$DW = 1.75$$

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
(Años de millones de pesos de 1950)

		1966	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto	PIB	122.67	132.34	143.23	152.27	162.86	174.08	186.74	199.52	211.36
2. Mfr. Papeles de papel y teleros	MP	2.27	1.84	1.44	1.54	1.63	1.74	1.86	1.99	2.13
3. Producto nacional bruto	PNB	120.40	130.50	141.80	150.73	161.23	172.34	184.26	197.24	210.23
4. Demanda agregada interna	DAI	123.64	133.89	145.04	155.72	166.18	177.43	189.44	202.23	215.14
5. Consumo	C	99.94	108.34	118.09	127.90	137.92	148.26	158.94	169.93	181.24
6. Pymes	CP	92.85	100.14	110.26	118.43	127.78	137.33	147.19	157.44	168.14
7. Público	TP	23.71	23.73	27.29	28.57	30.36	31.95	34.76	36.50	38.53
8. Inversión	I	21.10	23.67	25.23	26.37	27.46	28.99	30.90	33.24	35.09
9. Banca	BP	11.83	12.89	13.84	14.83	15.85	16.91	18.00	19.14	20.31
10. Pública	PG	9.74	10.62	11.37	12.08	12.88	13.67	14.54	15.49	16.41
11. Cambio en inventarios	IC	2.82	3.23	3.88	3.94	4.22	4.38	4.68	4.83	5.11
12. Demanda neto externa, bienes en cuenta corriente	DEE	-1.21	-1.59	-1.89	-2.04	-2.21	-2.39	-2.58	-2.78	-2.98
13. Bilateral de bienes y servicios	DBS	-1.81	-1.53	-1.45	-1.50	-1.58	-1.56	-1.64	-1.59	-1.48
14. Exportación de bienes y servicios	ESB	11.20	12.11	12.94	13.54	14.23	14.89	15.60	16.36	17.15
15. Importación de bienes y servicios	IBS	12.21	13.66	13.31	14.08	14.70	15.72	16.40	17.33	18.43

Nota: Variables salidas, unidades del período correspondiente del modelo predictivo.

CUADRO 2

Modelo teórico marxista. Proyección del sexenio 1971-1976
Generación de la demanda agregada
(Años de millones de pesos de 1950)

		1966	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producción interna bruta	PIB	122.67	132.34	143.23	152.27	162.86	174.08	186.74	199.52	211.36
2. Mfr. billetes de papel y teleros	MP	2.27	1.84	1.44	1.54	1.63	1.74	1.86	1.99	2.13
3. Producto nacional bruto	PNB	120.40	131.18	141.80	148.29	155.20	162.64	170.54	178.99	187.90
4. Demanda agregada interna	DAI	123.64	134.53	145.89	157.05	168.05	179.13	190.13	201.13	212.14
5. Consumo	C	99.94	108.72	119.09	128.20	137.92	147.67	157.44	167.24	177.09
6. Pymes	CP	92.85	100.78	110.94	119.54	128.33	137.33	146.54	155.94	165.44
7. Público	TP	23.71	23.83	27.29	28.57	29.83	31.14	32.50	33.91	35.36
8. Inversión	I	21.10	23.67	25.23	26.37	27.46	28.59	29.79	30.99	32.24
9. Banca	BP	11.83	12.89	13.84	14.83	15.85	16.87	17.91	18.96	20.01
10. Pública	PG	9.74	10.62	11.37	12.08	12.88	13.67	14.54	15.49	16.41
11. Cambio en inventarios	IC	2.82	3.23	3.88	3.94	4.22	4.38	4.68	4.83	5.11
12. Demanda neto externa, bienes en cuenta corriente	DEE	-1.21	-1.57	-1.86	-1.94	-2.03	-2.13	-2.24	-2.35	-2.47
13. Bilateral de bienes y servicios	DBS	-1.81	-1.53	-1.45	-1.50	-1.58	-1.56	-1.64	-1.59	-1.48
14. Exportación de bienes y servicios	ESB	11.20	12.17	12.94	13.54	14.23	14.87	15.56	16.29	17.04
15. Importación de bienes y servicios	IBS	12.21	13.70	13.34	14.04	14.73	15.43	16.13	16.83	17.53

Nota: Variables salidas, unidades del período correspondiente del modelo predictivo.

CUADRO 3

Modelo teórico keynesiano. Proyección del sesenio 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	172.67	132.81	143.17	148.06	137.79	166.88	178.80	190.68	203.37
2. Más: balanza de pagos a factores	BF	- 2.37	- 1.84	- 1.44	- 1.54	- 1.63	- 1.74	- 1.90	- 2.08	- 2.28
3. Producto nacional bruto	PNB	170.40	130.97	141.73	146.52	136.12	165.14	176.90	188.60	201.09
4. Demanda agregada interna	DAI	133.68	134.33	146.57	151.25	160.96	170.35	182.46	194.43	207.47
5. Consumo	C	99.96	108.55	119.25	123.09	130.67	137.85	147.16	156.45	166.37
6. Privado	CP	92.63	100.53	110.80	114.34	121.13	127.80	135.96	144.16	153.09
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	25.28	25.97	29.07	30.14	32.82	35.40	38.11
10. Privada	IP	11.93	12.94	13.69	14.44	15.38	16.27	17.43	18.39	19.43
11. Pública	IG	9.76	10.62	11.57	11.48	12.69	13.87	15.39	16.81	18.68
12. Cambio en inventarios	IC	2.02	2.22	2.06	2.24	2.22	2.36	2.48	2.83	3.11
13. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	MBSF	- 3.28	- 3.36	- 4.84	- 4.73	- 4.83	- 5.21	- 5.58	- 6.08	- 6.57
14. Balanza de bienes y servicios	MBS	- 3.01	- 3.52	- 3.40	- 3.19	- 3.20	- 3.47	- 3.66	- 4.00	- 4.23
15. Exportación de bienes y servicios	ESB	11.26	12.17	12.14	12.65	13.20	13.47	13.98	14.34	14.84
16. Importación de bienes y servicios	MBS	12.21	13.69	15.55	15.83	16.48	16.94	17.64	18.34	19.07

Nota: Variables exógenas tomadas del pronóstico expansionario del modelo predictivo.

CUADRO 4

Modelo teórico keynesiano. Proyección del sesenio 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	172.68	132.80	143.33	150.79	160.99	172.13	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	170.42	130.97	141.89	149.25	159.36	170.39	183.14	197.08	211.62
4. Demanda agregada interna	DAI	133.70	133.83	145.99	155.13	164.42	174.82	187.07	200.17	213.73
5. Consumo	C	99.96	108.55	118.75	122.23	130.35	136.56	145.74	154.21	163.30
6. Consumo privado por cabeza	CPN	1.84	2.05	2.18	2.26	2.33	2.42	2.51	2.61	2.72
7. Privado	CP	92.63	100.09	108.28	114.99	122.81	130.23	138.44	146.92	155.01
8. Público	CG	7.31	8.07	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	35.12	38.53	41.43
10. Bruta fija	I	21.70	23.50	25.23	25.66	27.84	29.90	32.85	35.72	38.32
11. Privada	IP	11.94	12.89	13.84	14.19	15.34	16.04	17.45	18.93	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	5.90	6.30	6.84	7.47
14. Sector parastatal	IGDE	5.24	6.06	6.59	6.79	7.25	8.01	9.09	9.97	10.88
15. Cambio de inventarios	IC	2.02	2.22	2.06	2.24	2.22	2.36	2.48	2.83	3.11
16. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	MBSF	- 3.28	- 3.62	- 4.85	- 4.72	- 4.20	- 4.23	- 4.42	- 4.76	- 4.98
17. Balanza de bienes y servicios	MBS	- 3.01	- 3.79	- 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	348.70	377.99	420.63	462.03	516.13	578.99	647.25	724.40	809.13
2. Más: balanza de pagos a factores	BF	- 6.30	- 3.18	- 4.24	- 4.73	- 5.21	- 5.86	- 6.61	- 7.38	- 8.64
3. Producto nacional bruto	PNB	334.41	367.10	416.47	462.24	520.06	588.07	657.89	742.03	811.30
4. Demanda agregada interna	DAI	343.51	377.31	430.80	475.31	533.33	602.60	675.15	759.36	848.13
5. Consumo	C	277.44	304.78	350.28	389.84	427.13	493.87	559.78	639.13	723.39
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	231.34	282.19	323.41	363.04	404.35	459.05	512.23	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	123.53	140.23	158.74
10. Bruta fija	I	60.25	66.35	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	77.58
12. Pública	IG	27.11	29.94	33.54	35.16	40.68	46.33	53.84	61.16	69.40
13. Gobierno Federal	IGG	1.57	12.86	14.10	14.15	17.44	19.53	22.01	24.88	28.25
14. Sector parastatal	IGDE	14.54	17.09	19.44	20.81	23.23	23.20	23.79	26.76	31.15
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	MBSF	- 9.10	- 10.22	- 14.33	- 13.07	- 13.47	- 14.58	- 15.46	- 17.33	- 18.83
17. Balanza de bienes y servicios	MBSF	- 3.80	- 5.03	- 10.08	- 8.34	- 8.28	- 8.72	- 8.81	- 9.75	- 10.19

CUADROS

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	158.79	160.00	168.50	180.60	192.15	204.46
2. Más: balanza de pagos y 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	156.66	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	176.64
6. Consumo privado por cabeza	CPM	- 1.94	2.05	2.18	2.26	2.33	2.40	2.47	2.53	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	1.31	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	32.63	34.83	36.82
10. Bruta (I)	I	23.70	23.50	25.21	25.66	27.26	28.53	30.41	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	14.26	15.41	16.46
13. Gobierno federal	IGG	4.53	4.56	4.78	4.69	5.31	5.72	6.34	6.51	7.09
14. Sector parastatal	IGDE	5.24	6.06	6.59	6.79	6.97	7.43	8.11	8.90	9.36
15. Cambio en inventarios	IC	2.02	2.22	2.08	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	- 3.53	- 3.52	- 3.38
17. Balanza de bienes y servicios	BBS	- 1.01	- 1.79	3.42	3.72	- 2.49	- 2.70	- 1.72	- 1.54	- 1.23

(Miles de millones de pesos corrientes)

		1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto	PIB	348.70	372.99	420.63	462.03	509.03	559.02	625.06	661.92	726.07
2. Más: balanza de pagos y factores	BF	- 6.30	- 5.18	- 4.24	- 4.73	- 5.17	- 5.58	- 6.15	- 6.80	- 7.51
3. Producto nacional bruto	PNB	334.41	367.10	416.47	463.34	512.28	563.94	616.02	677.55	746.08
4. Demanda agregada interna	DAI	341.51	377.31	430.80	475.31	525.33	578.77	627.82	683.67	758.09
5. Consumo	C	277.64	304.78	350.28	389.84	431.90	477.78	518.52	569.68	637.23
6. Consumo privado por cabeza	CPM	5.44	5.77	6.42	6.92	7.40	7.91	8.28	8.78	9.14
7. Privado	CP	257.34	282.19	325.41	361.04	402.15	444.95	487.61	540.16	583.87
8. Público	CG	20.31	22.60	24.87	26.80	29.75	32.83	35.91	39.52	43.44
9. Inversión	IT	65.87	72.53	80.52	85.47	93.43	100.98	109.40	119.60	130.73
10. Bruta (I)	I	60.25	66.25	74.38	78.63	86.72	94.10	102.66	112.09	121.80
11. Privada	IP	33.15	36.34	40.84	41.47	47.66	50.76	54.18	59.01	61.37
12. Pública	IG	27.11	29.94	33.54	35.16	39.07	43.35	48.47	53.08	58.11
13. Gobierno federal	IGG	12.57	12.86	14.10	14.35	16.88	18.85	20.60	22.47	25.19
14. Sector parastatal	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	6.73	6.88	6.74	7.91	8.92
16. Demanda neta externa: balanza en cuenta corriente	BBSF	- 9.10	- 10.22	- 14.23	- 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 en estudio	Modelo	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1. Producto interno bruto: PIB	Clásico	122.67	132.34	142.53	152.77	162.80	174.06	186.76	199.32	213.23
	Marxista	122.67	133.02	145.98	144.83	153.55	161.18	172.40	182.97	194.21
	Keynesiano	122.67	132.81	143.17	148.06	157.75	166.84	178.80	190.68	203.17
	Predictivo: Expansionista	122.68	132.30	142.55	158.79	160.99	172.11	185.04	199.16	213.99
	Predictivo: Estabilizadora	122.68	132.30	142.55	158.79	160.00	169.50	180.60	192.15	204.46
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: Expansionista	2.78	2.82	2.95	3.06	3.21	3.37	3.50	3.64	3.78
	Predictivo: Estabilizadora	2.78	2.87	2.95	3.06	3.18	3.30	3.39	3.44	3.55
3. Balanza externa: cuenta corriente: B (BBSF)	Clásico	- 3.28	- 3.39	- 4.85	- 5.04	- 5.01	- 5.30	- 5.58	- 6.07	- 6.41
	Marxista	- 3.28	- 3.37	- 4.86	- 4.54	- 4.59	- 4.85	- 5.18	- 5.63	- 5.97
	Keynesiano	- 3.28	- 3.34	- 4.84	- 4.73	- 4.83	- 5.21	- 5.56	- 6.08	- 6.51
	Predictivo: Expansionista	- 3.28	- 3.62	- 4.85	- 4.27	- 4.20	- 4.33	- 4.42	- 4.74	- 4.94
	Predictivo: Estabilizadora	- 3.28	- 3.62	- 4.85	- 4.27	- 4.10	- 3.89	- 3.55	- 3.52	- 3.35
4. Inversión privada: Bruta (I): IP	Clásico	11.93	12.89	13.84	14.83	15.95	17.12	18.29	19.74	21.28
	Marxista	11.93	12.99	13.95	13.82	14.71	15.42	16.64	17.73	18.90
	Keynesiano	11.93	12.94	13.89	14.44	15.38	16.27	17.43	18.39	19.47

BIBLIOGRAFIA

- (14)
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 Econométricos". 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.



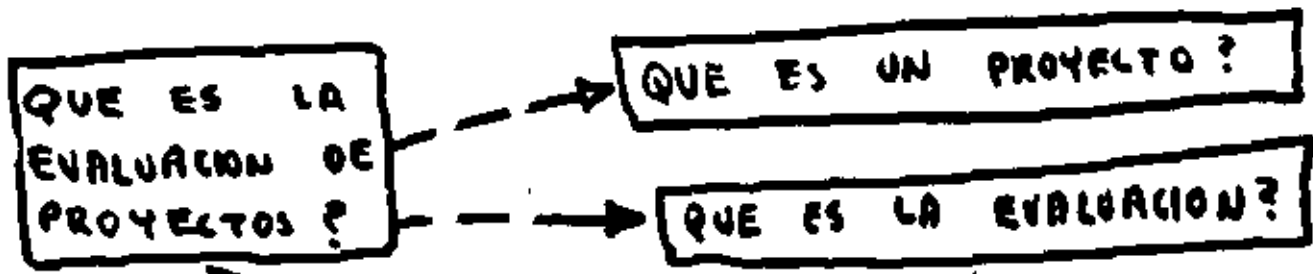
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

EVALUACION DE SISTEMAS

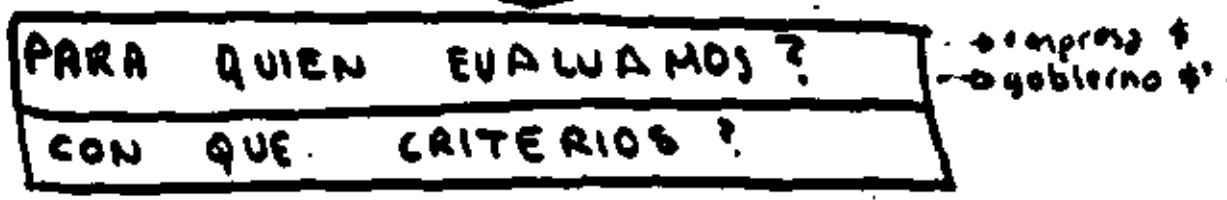
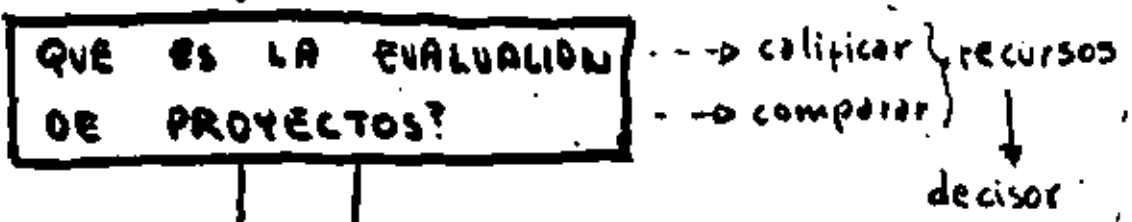
M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON

ENERO, 1983



ELEMENTOS PARA LLEVAR A CABO UN PROYECTO

FLUJO MONETARIO EN EL TIEMPO tip.



- ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
-
- PROBLEMAS INVOLUCRADOS
- JUSTIFICACION DEL USO
 - TECNICAS ALTERNATIVAS DE PRODUCCION
 - FECHA EN QUE DEBE INICIARSE EL PROYECTO

ASPECTOS A CONSIDERAR.

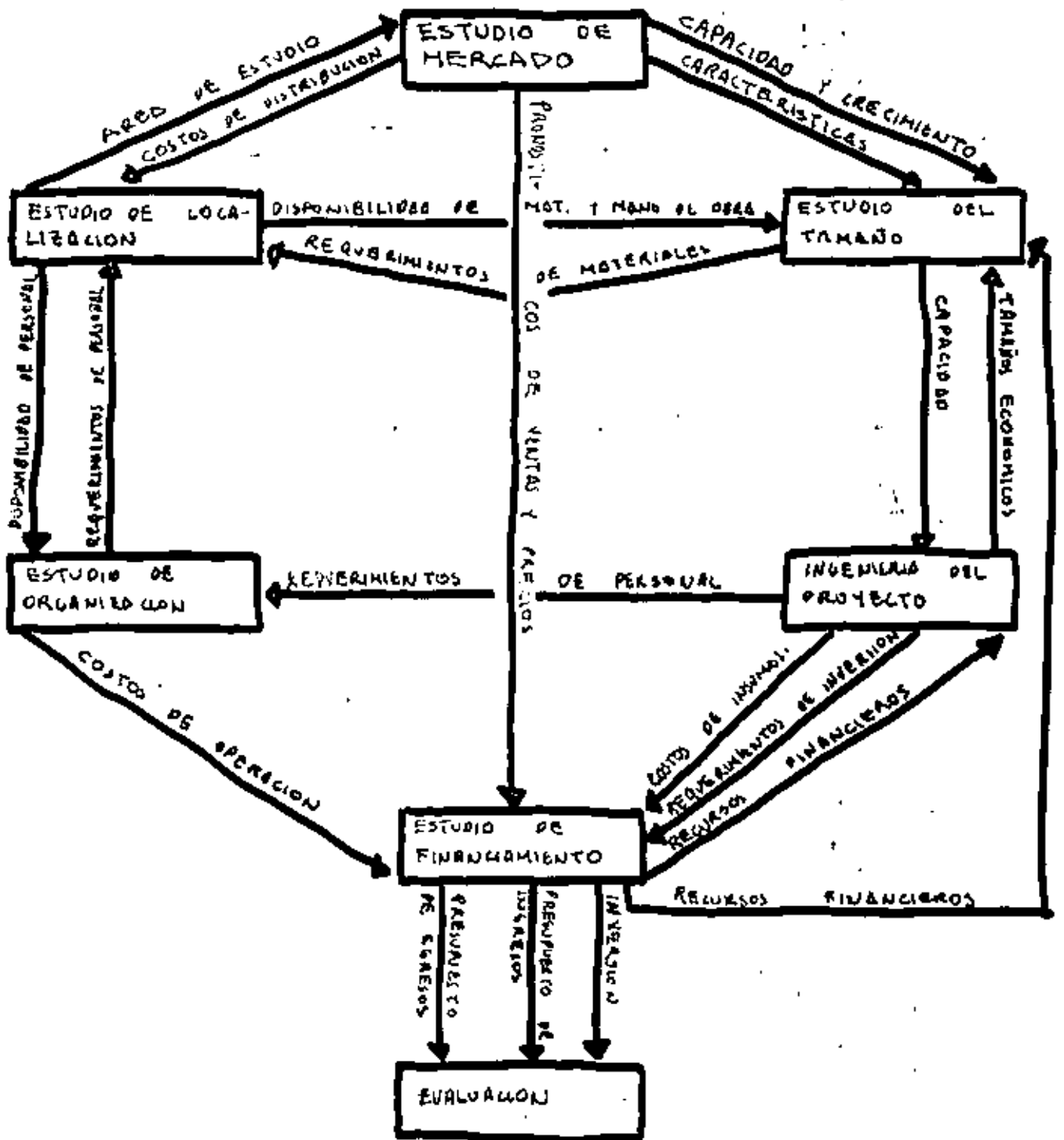
- técnicos: proceso, rendimientos, requisitos
- económicos
- financieros
- organización
- comerciales

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

-- sustitucion de importaciones

-- balance de pagos

-- dependencia tecnologica

red.

¿CÓMO DEBE DE EVALUAR EL GOBIERNO?

- Precio

- Gasolina

- Gas natural

- Aluminio

- Minas (sector privado)

perm. de imp.

instalacion

recurso.

Apoyo subsidios, etc.

EXISTE UNA EVOLUCION DEL CONCEPTO EVALUACION.

E.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 DESERCHA LA EVALUACION FINANCIERA?

Agricultores

Ganaderos X

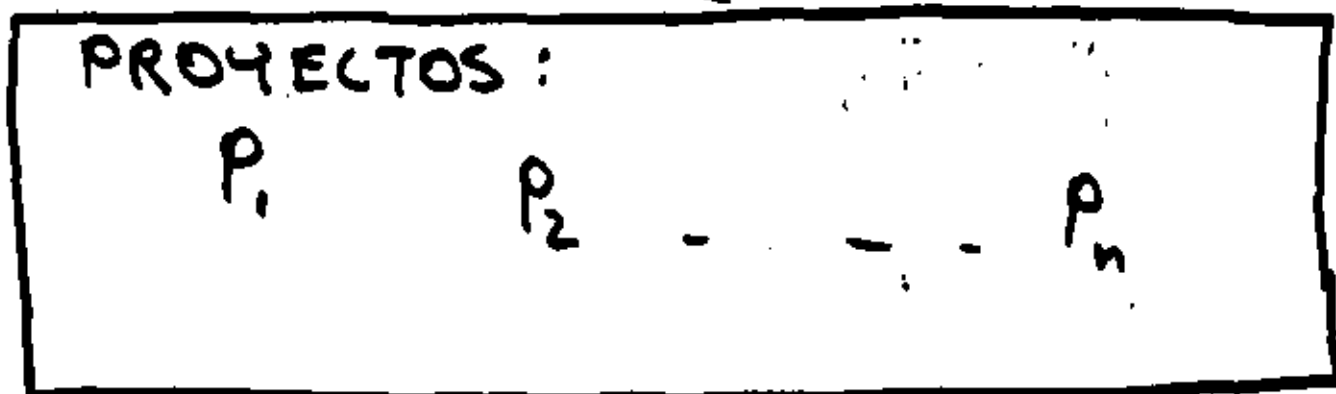
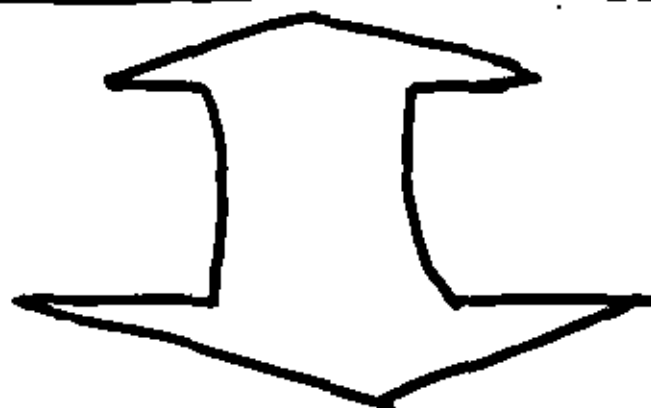
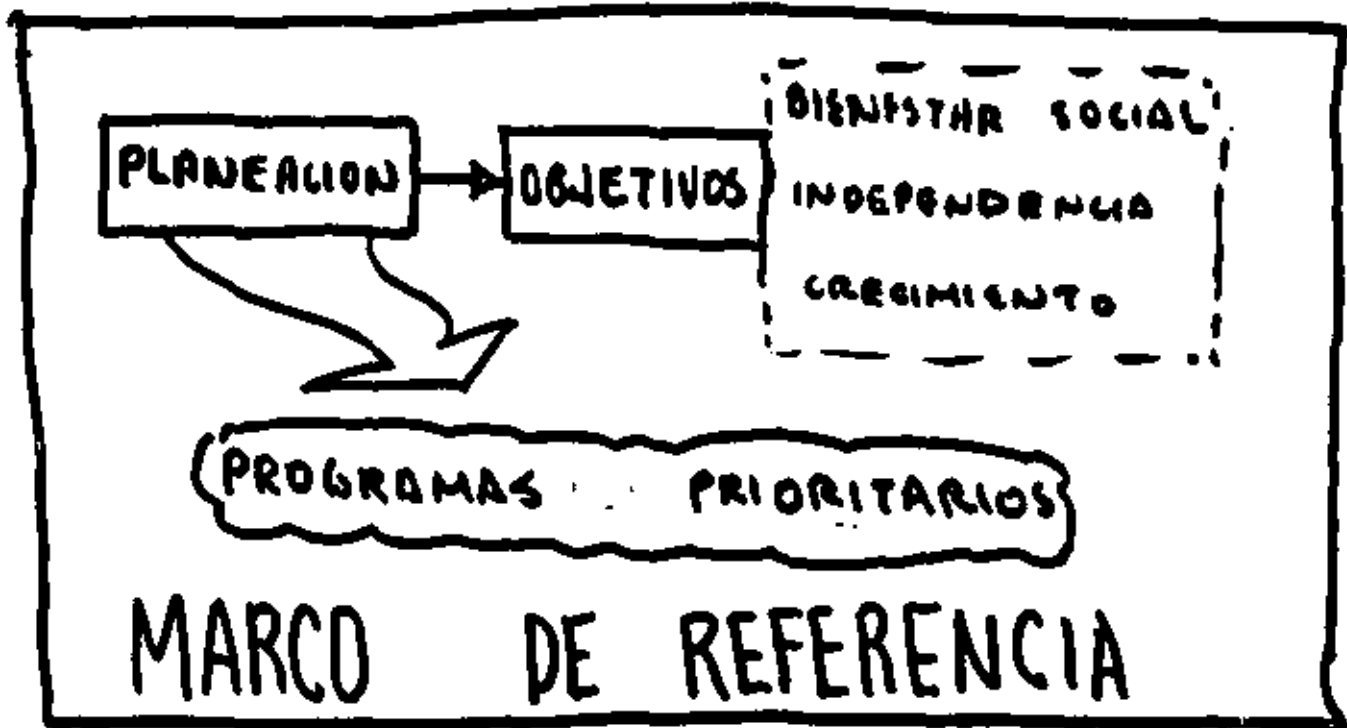
Comerciantes

Industriales

¿RAPIDEZ O DIRECCION?

¿CRECER SIN IMPORTAR HACIA DONDE?

¿DIRIGIRSE A ALGO SIN IMPORTAR RITMO?



POLITICOS

- acentífico
- irracional

TECNICOS

- tecnócrata
- deshumanizado
- eficientista

INFORMACION
-
Realidad
| pa. | Tel. |

Realidad

NEO CLASICOS

ABSTRACCIONES

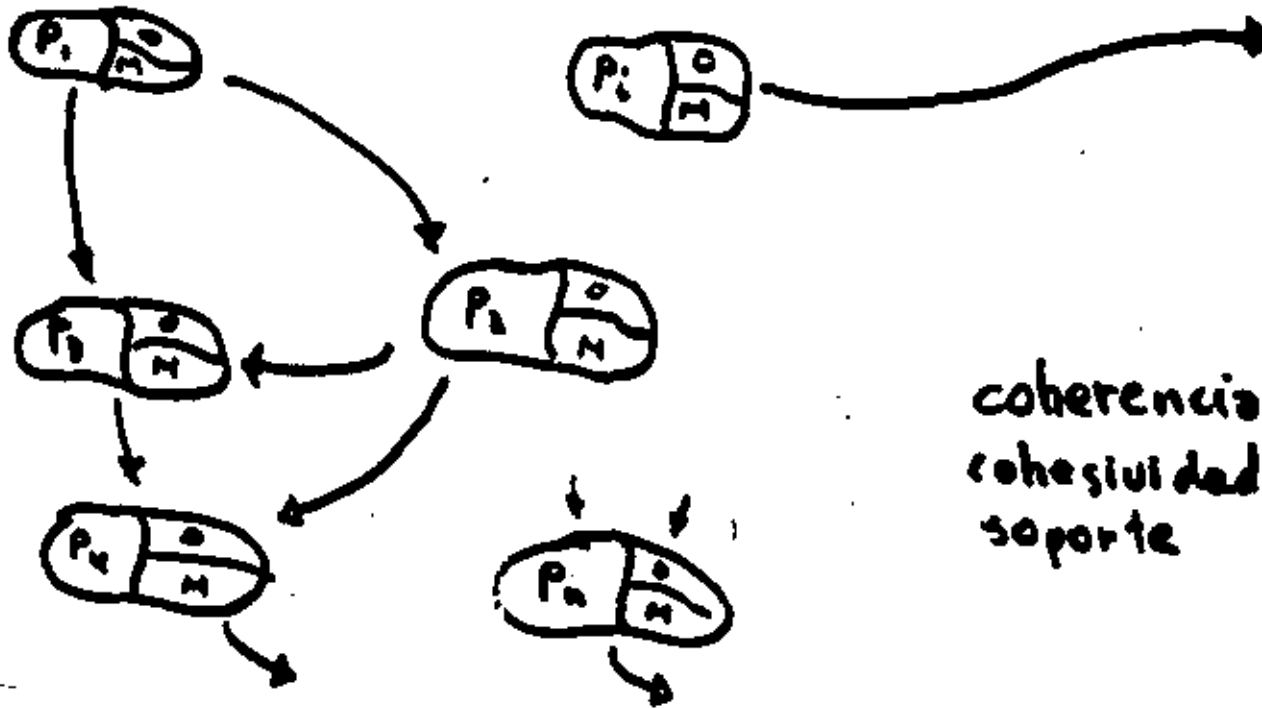
1º grado (desconcentración, independencia, nac., empleo, autosuficiencia)

↓
PROYECTOS SOCIALES BASICOS (singulares)

2º grado (PIB, # empleos / sector, balanza, etc.)

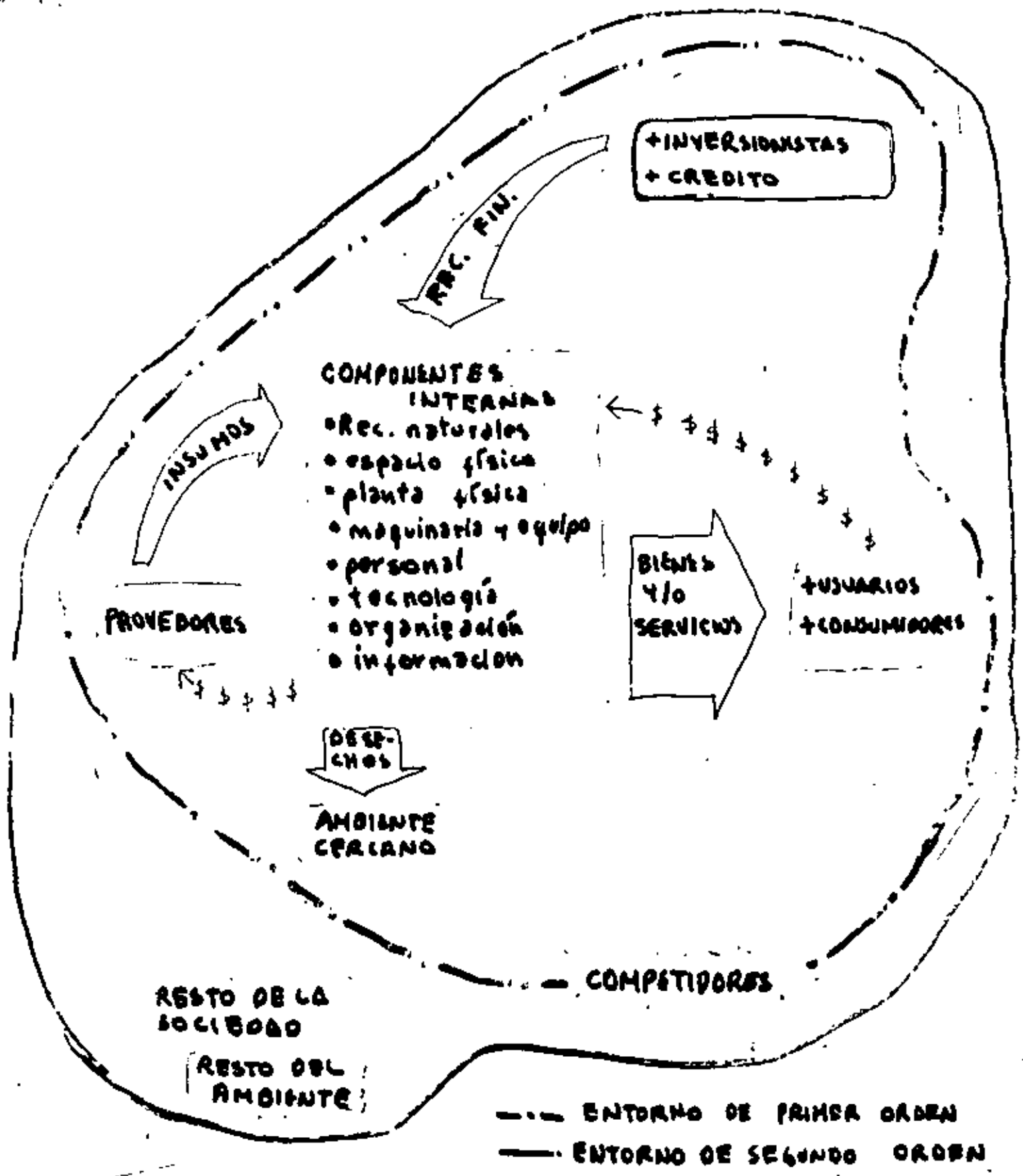
3º grado (TIR, B/c, VPN, tasa de crecimiento, capacitación)

CADENA DE PROYECTOS



¿ CUANDO EVALUAR ?

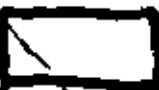
¿ PARA QUIEN ?



MODELO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA PRODUCTIVO.

Gob.

Actores \ Impactos	Fin.	Eco	Soc.	Pol	Cul	Tec	Ecol	Este	etc.
Propietarios
Personal
Financieros
Proveedores
Usuarios
Competidores
Soc. cercana
Resto de la Soc.



- Opción 1 :
- Opción 2 :
- Opción 3 :



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

LOS MODELOS MATEMATICOS DEL PLAN RECTOR DE VIALIDAD Y TRANSPORTE

ENERO, 1983

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 metropolita-

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 generen 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).

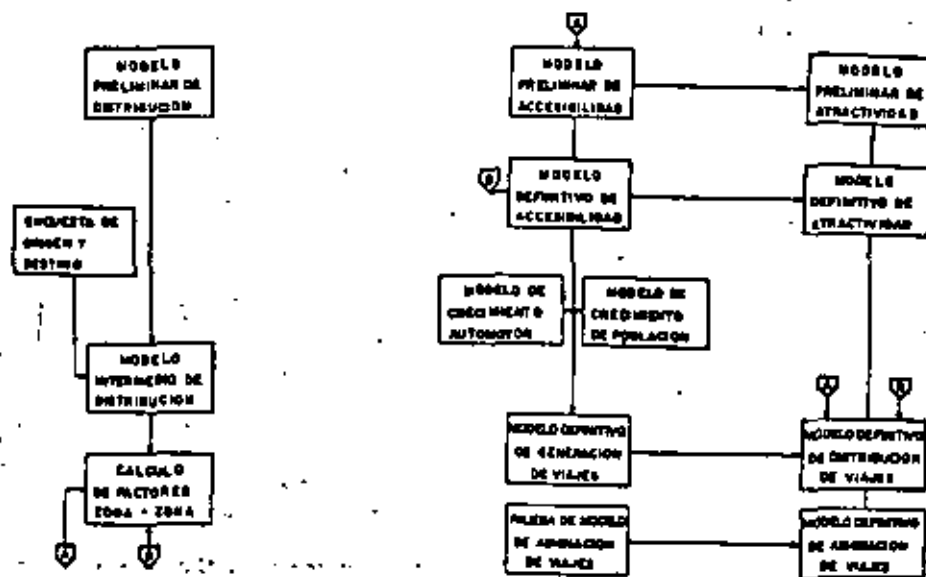


Fig. 1 Batería de Modelos del PRVT

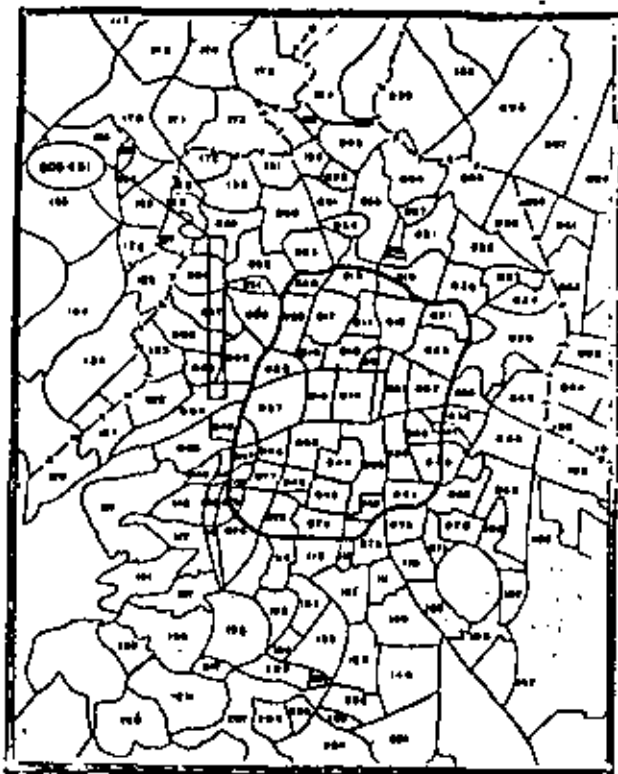


Fig. 2-A- Generación de Viajes (Sector 084)

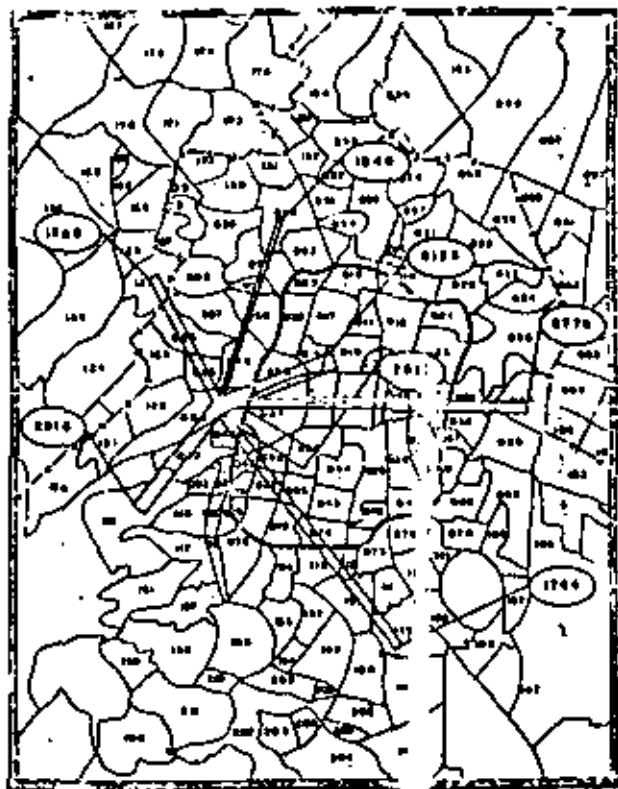


Fig. 2-B- Distribución de Viajes desde el sector 084



Fig. 2-C- Red de transporte

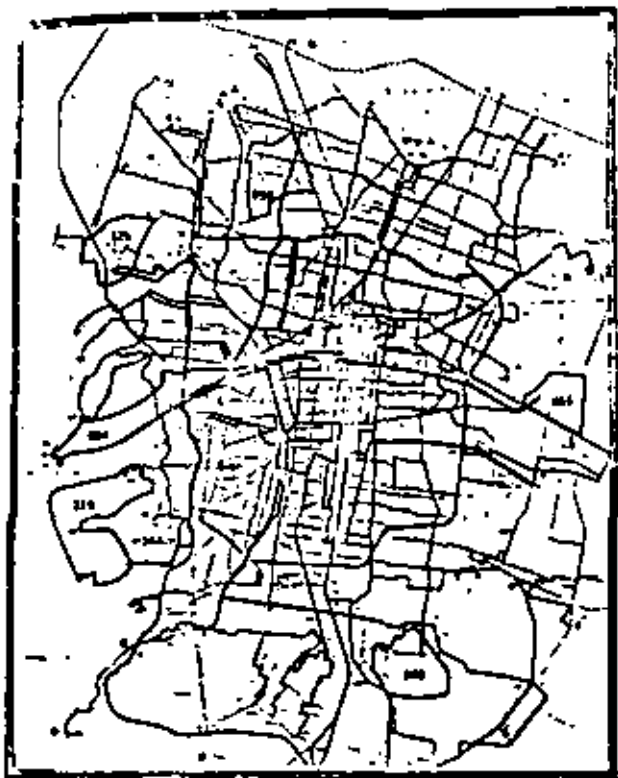


Fig. 2-D- Rutas mínimas desde el sector 084

Los datos de entrada del MPDV se extrajeron de los resultados de una investigación realizada en 1978 por la Dirección General de Estadística, bajo el nombre de "Encuesta Nacional de Hogares (ENH). A nivel delegacional, la citada encuesta reportó datos sobre el número de viajes generados y el destino de tales viajes. La expresión del MPDV se incluye con fines ilustrativos.

$$M_{ij} = 2.6878 (p_i E_j)^{0.45} (d_{ij})^{-1.27} \quad (1).$$

siendo:

M_{ij} = Viajes originados en i con destino en j .

P_i = Población económicamente activa (PEA) en el sector de origen i .

E_j = Empleos disponibles en el sector de destino j .

d_{ij} = Distancia entre el centroide del sector i y el centroide del sector j , medida como la suma de sus distancias ortogonales.

Una vez encontrada la estructura del MPDV a nivel delegacional, se procedió a ratificarla comprobando su aplicabilidad al nivel de zonificación de la ciudad empleado para la totalidad del estudio.

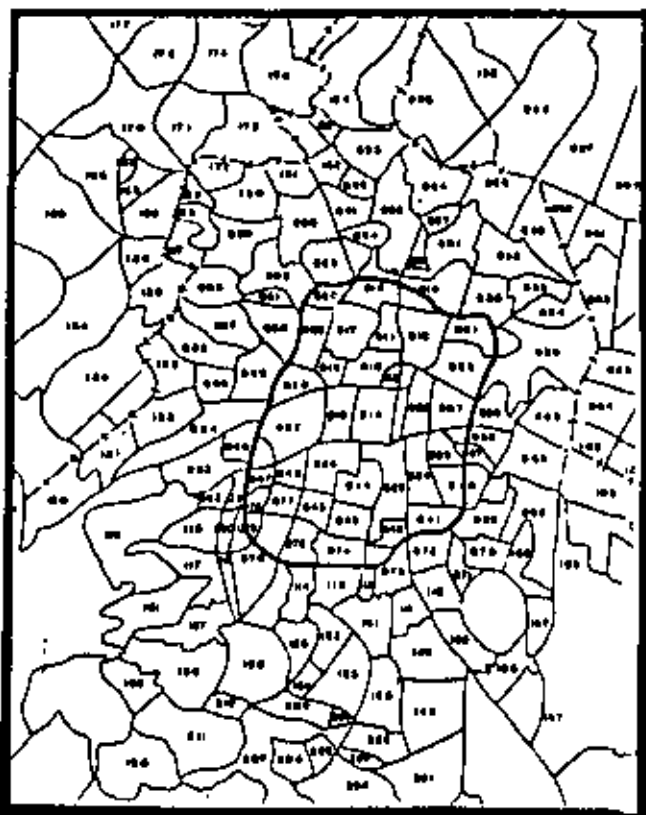


Fig. 3 Encuesta domiciliar de Origen - Destino. Zonificación del área metropolitana de la Cd. de México.

La Ciudad de México zonificada en de 207 segmentos de áreas, (Fig. 3) buscando que cada uno de ellos presentara un adecuado nivel de homogeneidad interna. Esa zonificación de apoyo sirvió para llevar a cabo una encuesta domiciliar del comportamiento de la población en materia de desplazamientos (EDOD).

Del procesamiento de esta encuesta se obtuvo un conjunto de matrices que representa el número de viajes entre cada pareja de zonas, clasificados por motivo, medio de transporte, hora del día, etc.²

Para calibrar el MPDV con los datos reales de la EDOD, se separaron dos muestras de 10 estratos (sectores) cada una y se aplicó a ambas el modelo deducido de la ENH, habiéndose confirmado tanto la estructura como el estado del modelo.

A continuación el proceso siguió por dos caminos, a saber:

- 1.- Obtención del modelo definitivo de distribución de viajes (MPDV).
- 2.- Obtención de otros modelos de la batería.

El modelo definitivo de distribución de viajes requería para su concepción de varias aportaciones estructurales e informativas. En el primero de los casos se basaba en el Modelo Intermedio de Distribución de Viajes (MIDV) y en una matriz de ajuste formada por los Factores de Ajuste Zona-Zona (FAZZ). El MIDV resultó de la aplicación del MPDV con los datos de dos muestras de movimiento O-D extraídas del total de la EDOD.

Aún cuando la expresión matemática del MIDV resultó aceptable dentro del rango de variabilidad pre fijado, los valores finales de pronóstico acusaron una dispersión en torno de la curva del modelo. La representación gráfica de las parejas coordenadas (P_i, M_{ij}); (E_j, M_{ij}) y (d_{ij}, M_{ij}) quedó pulverizada en torno a la curva que las describe.

ESTADÍSTICA
MÉDIO
ESTADÍSTICA

ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DE MOVIMIENTO EN TRANSPORTE PÚBLICO

MOTIVO DE VIAJE EN METRO (REAL)		01701
TOTAL DE VIAJES EN METRO (COMPUTADO)		240,000
PORCENTAJE DE VIAJES EN METRO (COMPUTADO)		28.000
PORCENTAJE DE VIAJES EN METRO (COMPUTADO)		30.000

MOTIVO		
TRABAJO	100,000	20.000
ESTUDIO	75,000	15.000
ESPERANDO	25,000	5.000
RECREACIÓN	20,000	4.000
COMPRAS	10,000	2.000
OTROS	10,000	2.000
TOTAL	175,000	35.000

MOTIVO		
TRABAJO	100,000	20.000
ESTUDIO	75,000	15.000
ESPERANDO	25,000	5.000
RECREACIÓN	20,000	4.000
COMPRAS	10,000	2.000
OTROS	10,000	2.000
TOTAL	175,000	35.000

Fig. 4 Encuesta domiciliar Origen-Destino. Listado de resultados de movimiento en transporte público

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 Pi y Ej, 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:

$$Vi = 0.0024 Pi + 0.0021 Ni + 0.0796 Ai - 7.222$$

siendo:

Vi = Viajes producidos en sector i.

Pi = Población total del sector i.

O D	930	932	940
940	9864	12230	10434
930	—	3228	3642
932	3266	—	2720

Fragmento de la matriz O - D de viajes estimados.

O D	930	932	940
940	4179	1044	12120
930	—	0	706
932	0	—	0

Fragmento de la matriz O - D de viajes reales.

O D	930	932	940
940	0.472	0.079	1.142
930	—	0	0.029
932	0	—	0

Fragmento de la matriz O - D de factores de ajuste zona - zona (FAZZ).

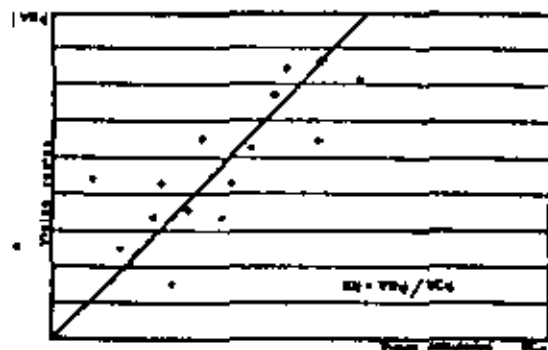


Fig. 5 Proceso de aplicación de los factores de ajuste Zona-Zonas (Fazz.)

Ni = Número de automóviles privados del sector i.

Ai = Accesibilidad del sector i.

El proceso de valoración de Vi para cada sector y para cada año de pronóstico se reduce a sustituir en la ecuación del MDGV las cantidades de Pi, Ni y Ai, 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 (Pi) 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 (Ni) 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. $Nf = (1 + t)^X No$

siendo:

Nf = Número futuro de vehículos

t = Tasa histórica de crecimiento (t = 0.1014, hasta 1980)

X = Año del pronóstico (x = 0 en 1980)

No = Número presente de vehículos (1980)

Variación exponencial modificada.- $Nf = 6.99 - 5.32 (0.94)^X$ 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 Ni en la expresión del MDGV. La ecuación de modelo resultó la siguiente:

$$nf (i) = Fp (i) Ni$$

siendo:

nf (i) = Número futuro de vehículos en el sector i.

Ni = Número futuro de vehículos en el Distrito Federal.

Fp (i) = Factor de participación del sector i, conforme a las hipótesis detalladas en el trabajo citado.

El parámetro Ai de la ecuación del MDGV representa la accesibilidad del sector.

La accesibilidad (Ai) 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 (Pi, Ni y Ai) 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 atractividad 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 atractividad 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 = Atractividad 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 atractividad 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 sector

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 0.998 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 incluyendo 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	5.67	17.40	6,382	777,889
201	300	8.85	-5.68	-37	30,979
301 en adelante		1.33	-9.08	3,717	1'187,425

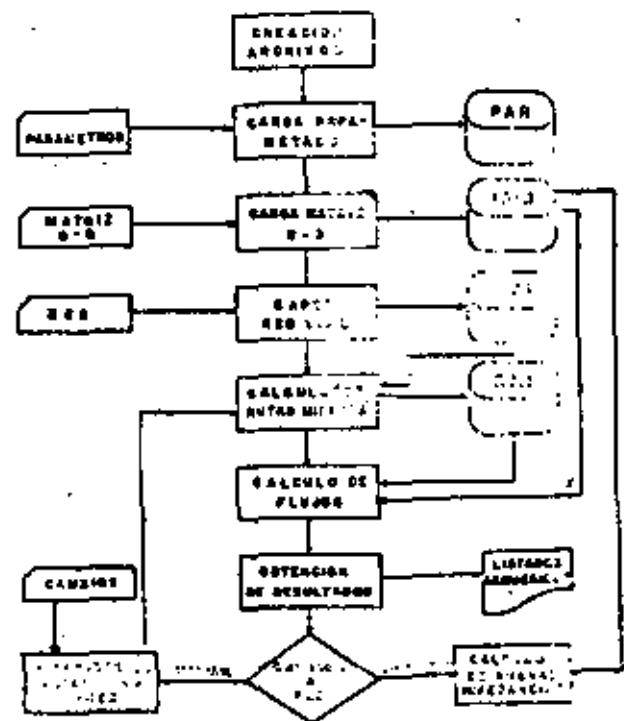


Fig. 6 Flujoograma del modelo de asignación

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 cumplen 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)

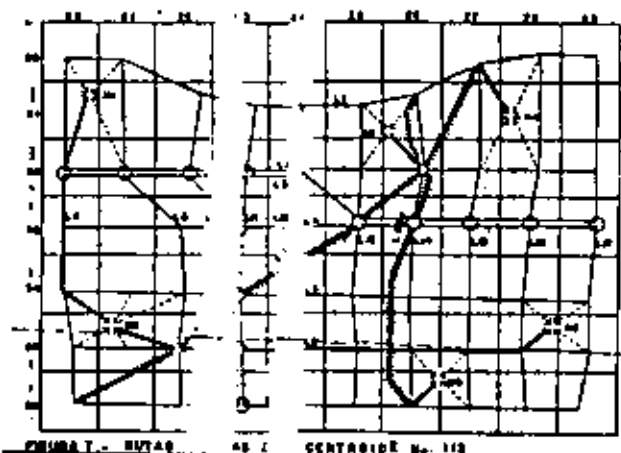
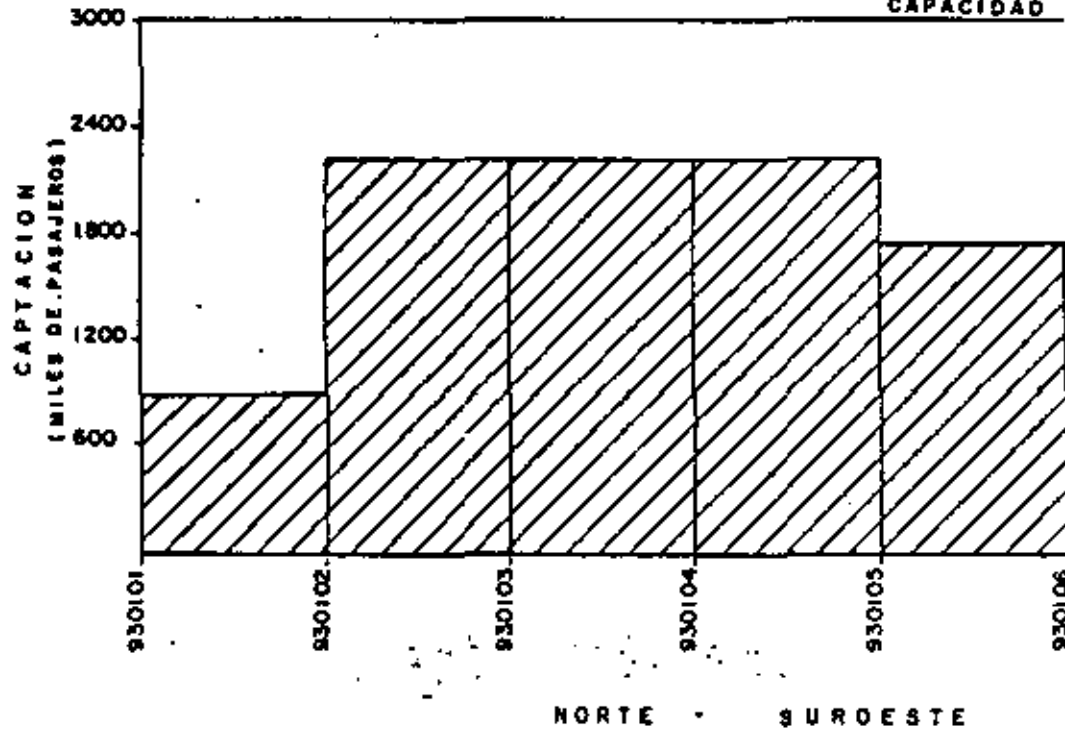


Fig. 7 Rutas mínimas de Centrolde No. 112

*** MODELO DE ASIGNACIÓN DE VIAJES ***				*** RED VIAL DE PRUEBA ***						
LISTADO DE RUTAS MÍNIMAS				PAG. 3 16/10/81						
				PROCED. 15						
ORIG.	DEST.	IMPED.		A						
112	115	1894	112	0 900	900604	900605	900606	900607	900608	900609
112	113	1409	112	0 930	930103	930104	930105	930202	930203	930204
112	114	1167	112	0 970	930103	930104	930105	930106	273000	114
112	116	1984	112	0 970	930103	930104	930105	263280		116
112	111	1975	112	0 900	900003	900802	203200			111

1STME - RED PARA EJEMPLIFICAR GRAFICACION DE LINEAS

CAPACIDAD

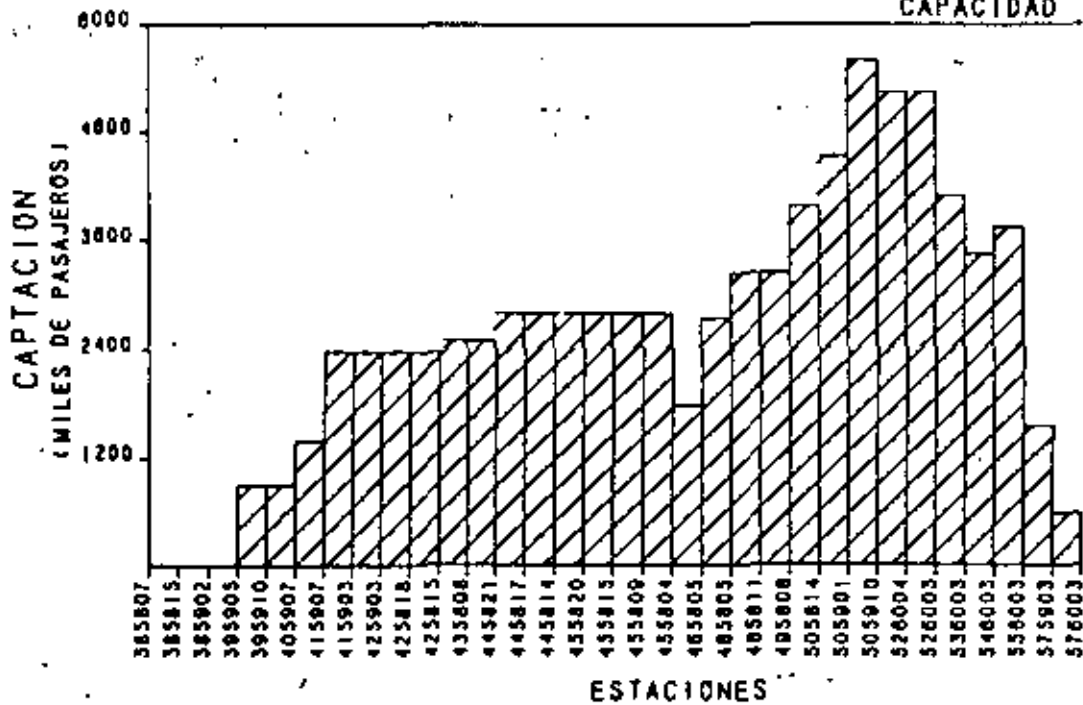


ruta NO. 38

1STME - RED ORTOGONAL CON 7 LINEAS DE METRO

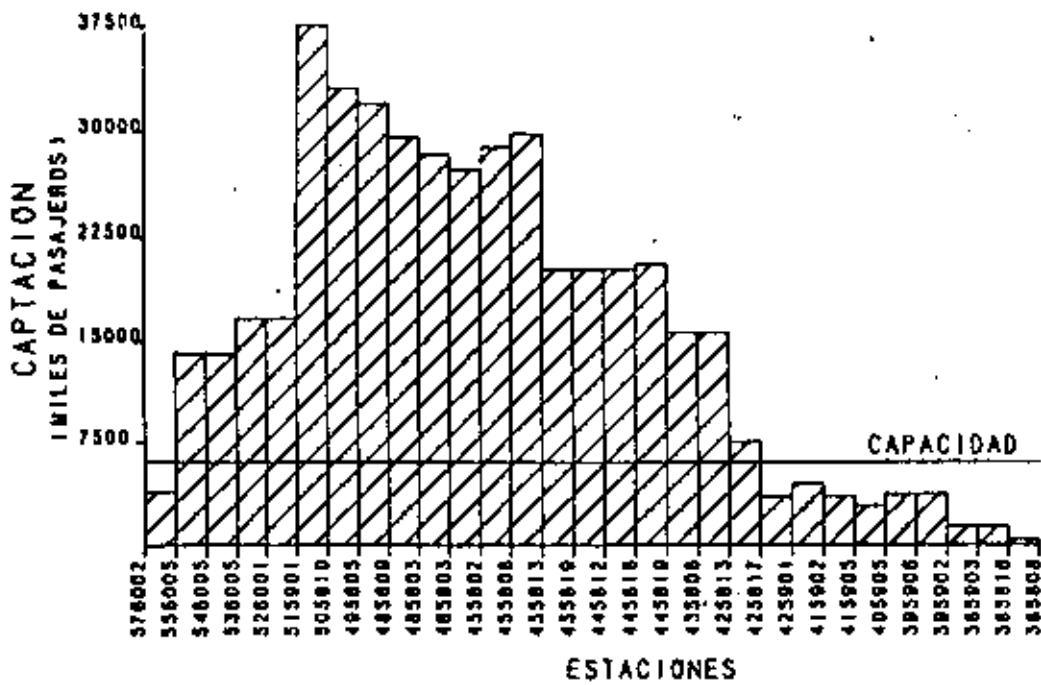
1982

CAPACIDAD

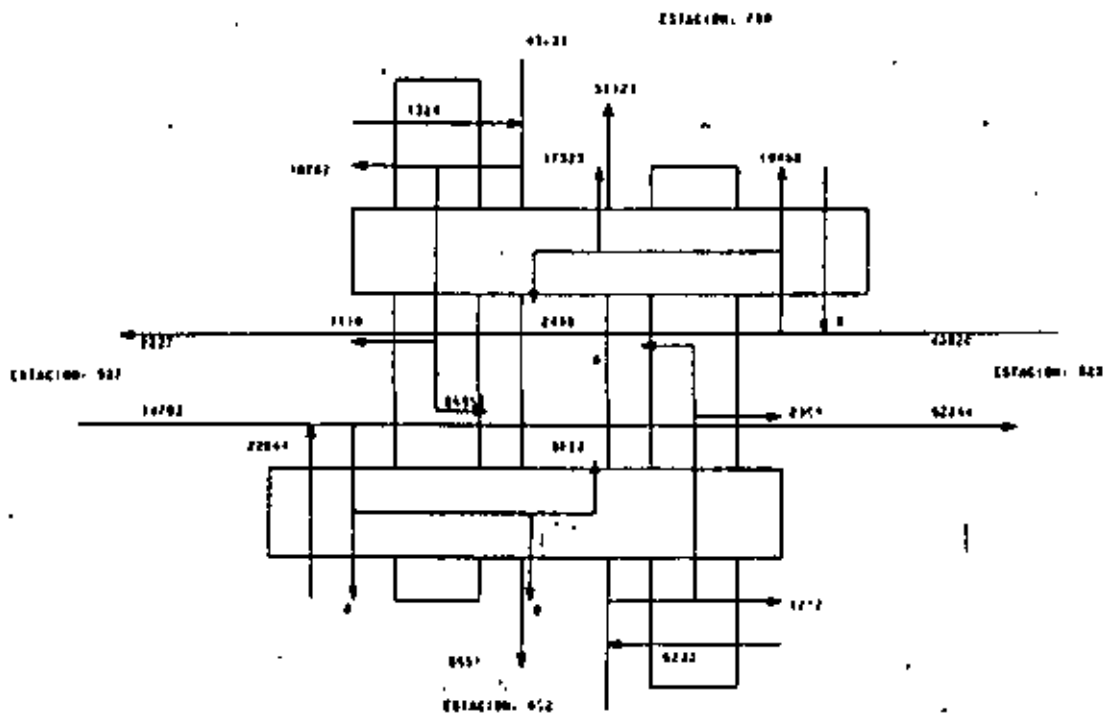


RUTA NO. 38

1STME - RED ORTOGONAL CON 7 LINEAS DE METRO 1982

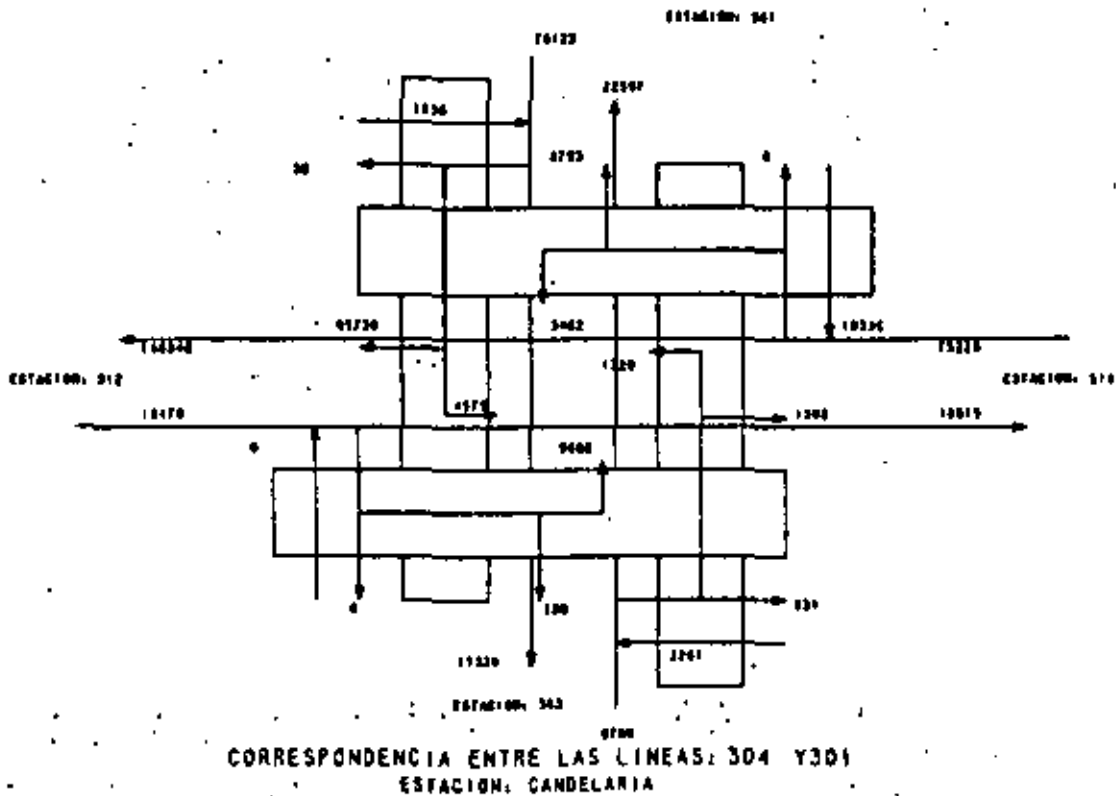


1STME - TERCERA ALTERNATIVA LINEAS METRO 1984



CORRESPONDENCIA ENTRE LAS LINEAS: 307 T302
ESTACION: FACUBA

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 atractividad 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. ■



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

**FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA
DE SISTEMAS**

**ESTUDIO DE SIMULACION PARA LA AMPLIACION DEL METRO
DE LA CIUDAD DE MEXICO**

ING. ALFONSO DIAZ ANDRADE

ENERO, 1983

AGRADECIMIENTOS.

Con estas breves líneas, quisiera hacer patente mi agradecimiento y a la vez dedicar este trabajo a las diferentes personas que hicieron posible la culminación de una carrera profesional y el estudio al que resume brevemente esta tesis.

Los Ingenieros Antonio Murrieta Necochea y Andrés Lasaga Gómez, cuyos valiosos consejos me orientaron durante los estudios en la Universidad Ibero Americana.

El Dr. Jorge I. Bustamante que me guió en mis primeros trabajos en Computación Electrónica, Ingeniería de Sistemas y Consultoría.

Los Ingenieros Dagoberto Flores Lozano, Jaime López (Q.E.P.D.), Reynaldo Escobedo y Joaquín González Marín, así como el E.P. Jorge Arista (Q.E.P.D.), que me dejaron valiosas enseñanzas profesionales.

El Ing. Raymundo Paván Alarcón, el E.P. Jaime Suárez Montano del Collado, el M. en C. Enrique del Valle y la Srta. Silvia del Olmo que colaboraron ampliamente en los trámites necesarios para presentar esta tesis.

En este estudio colaboraron de diferentes maneras: Arq. Jorge Sepúlveda y Arq. Jorge Guillén de la Subsecretaría de

Mejoramiento del Ambiente; Ing. José Cen del Instituto Politécnico Nacional; Ing. Salomón Solay, Ing. Emiliano Ramiro Lalana e Ing. David Luce Vázquez de Sistema de Transporte Colectivo.

Revisaron objetivos, método, datos y resultados de este trabajo: Ing. José Luis Aburto Avila de la Secretaría de la Presidencia, Ing. Rafael Cal y Mayor del Departamento del Distrito, Dr. Daniel Roos del Departamento de Transportes (MIT) y Dr. Michel Barbier Director de Estudios del Metro de París.

El Ing. Manuel Díaz Caneles quien coordinó los estudios de planeación de la expansión del Metro de la Ciudad de México.

El Ing. Enrique Wernholtz quien proporcionó el material gráfico y efectuó observaciones en este estudio.

El Sr. Jorge Fernández Murano quien colaboró en la programación FORTRAN y la Srta. Socorro Robledo que mecanografió el trabajo.

Deseo agradecer y dedicar este trabajo al Ing. Leonard Rapoport que me ha orientado en el estudio, en el trabajo y quien dirigió este proyecto.

Finalmente quisiera presentar mi muy especial agradecimiento y dedicación a mis padres Sr. Enrique Díaz González y Sra. María de Jesús Andrade de Díaz y a mi futura esposa Rosario -
Ma. Zurita.

1. ANTECEDENTES.

Una vez concluidos el proyecto y construcción de las 3 líneas básicas del Metro de la Ciudad de México, y puesto en operación completa en 1970, se observó el éxito de este sistema de transporte masivo, cuyo crecimiento ha permitido manejar hasta 1.500,000 pasajeros diarios. El constante crecimiento de la Ciudad permite prever la necesidad de una expansión paulatina del sistema.

El desarrollo de nuevas técnicas de análisis y datos cualitativa y cuantitativamente superiores, sugieren el desarrollo de procedimientos de evaluación más perfeccionados para cumplir los mismos objetivos planteados para la primera etapa.

En la enorme cantidad de posibles alternativas de construcción todas técnicamente factibles, debería seleccionarse la combinación de extensiones a líneas actuales y construcción de nuevas líneas que proporcionara los mejores resultados.

Salta a la vista, diferentes preguntas:

¿La alternativa propuesta tiene una buena captación de pasajeros?

2.

¿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, cuál opera con 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

3.

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 SOLUCIÓN 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 congestiónamiento 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 captación de pasajeros de la alternativa en estudio.

El Modelo debería ser sensible a los cambios de ubicación de estaciones (en un rango apreciable) y la diferente conexión de las líneas con el sistema actual.

- II. El Modelo debería servir para simular, tanto situación actual como futura, obteniendo el crecimiento de la Ciudad en cada una de sus sectores.

Estos requerimientos condujeron a diseñar un Modelo de Simulación como un Modelo gravitacional de viajes entre sectores, con crecimiento independiente por sector y aplicando esta Matriz de viajes a la red vial de la Ciudad. El Algoritmo de Rutas Mínimas calcula las diferentes rutas 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.

A. 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 HIPÓTESIS

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 2 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 Miller 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.

0. 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 puedan 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.

RESULTADOS DEL MODELO

Los resultados de la simulación, que pueden obtenerse cada hora son:

Número de trenes que se encuentran transitando.

Probabilidad de no abordar un tren por estar saturado.

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 cada 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 natural 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.

S. IMPLEMENTACION EN COMPUTADOR.

A. SELECCION DEL LENGUAJE.

La selección del lenguaje en el que implementar el Modelo de Simulación, estuvo basado en las siguientes razones:

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 Mínimas

Submodelo de Estaciones de Correspondencia

Submodelo de Influencia de Líneas

Se requirieron además diversos programas de utilidad 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 trenes	225
Máximo número de líneas en una correspondencia	5
Máximo número de trenes asignados a una línea	48

Estas restricciones pueden ser cambiadas reemplazando los diferentes programas.

D. TIEMPOS DE EJECUCION.

La ejecución de los submodelos es de unas 5 minutos por alternativa.

Se ha obtenido una fórmula empírica para estimar el tiempo de ejecución del Modelo CPSS para cada línea.

$$T = 100 \frac{N}{M}$$

Dónde: 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 compone de 5 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 el 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, presentaría los mismos problemas descritos para las líneas centrales de la Alternativa A.

La línea 2 requeriría un número y frecuencia de trenes que la hicieran operar en punto de saturación.

La línea 6 (periférica), requiere un número relativamente grande de trenes por ser de gran longitud, y se encuentra cerca del punto de congestión. 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 congestionamiento.

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-cuadrícula.
- Con objeto de desahogar Pino Suárez se plantea en el Centro de la Ciudad con una porción de línea paralela a la intersección más cargada (Merced - Pino Suárez).
- Se abren líneas en el Norte de la Ciudad, que presenten un gran mercado potencial de pasajeros.

Se resuelven en general los problemas de las alternativas anteriores, con la inclusión de la línea 6 que colabora 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 g quipo 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 e intervalo.
- Para captación semejante, el número de intercambios promedio resultó menor (los pasajeros requirieron 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 & 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, fue 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 refuerza 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)

Simscript, A Simulation Programming Language.-

H.M. MARKOWITZ, D. HAUSNER & M.W. KARR (Prentice-Hall)

GPSS/360. User's Manual (IBM)

System Simulation.-

G. EORDOR (Prentice-Hall)

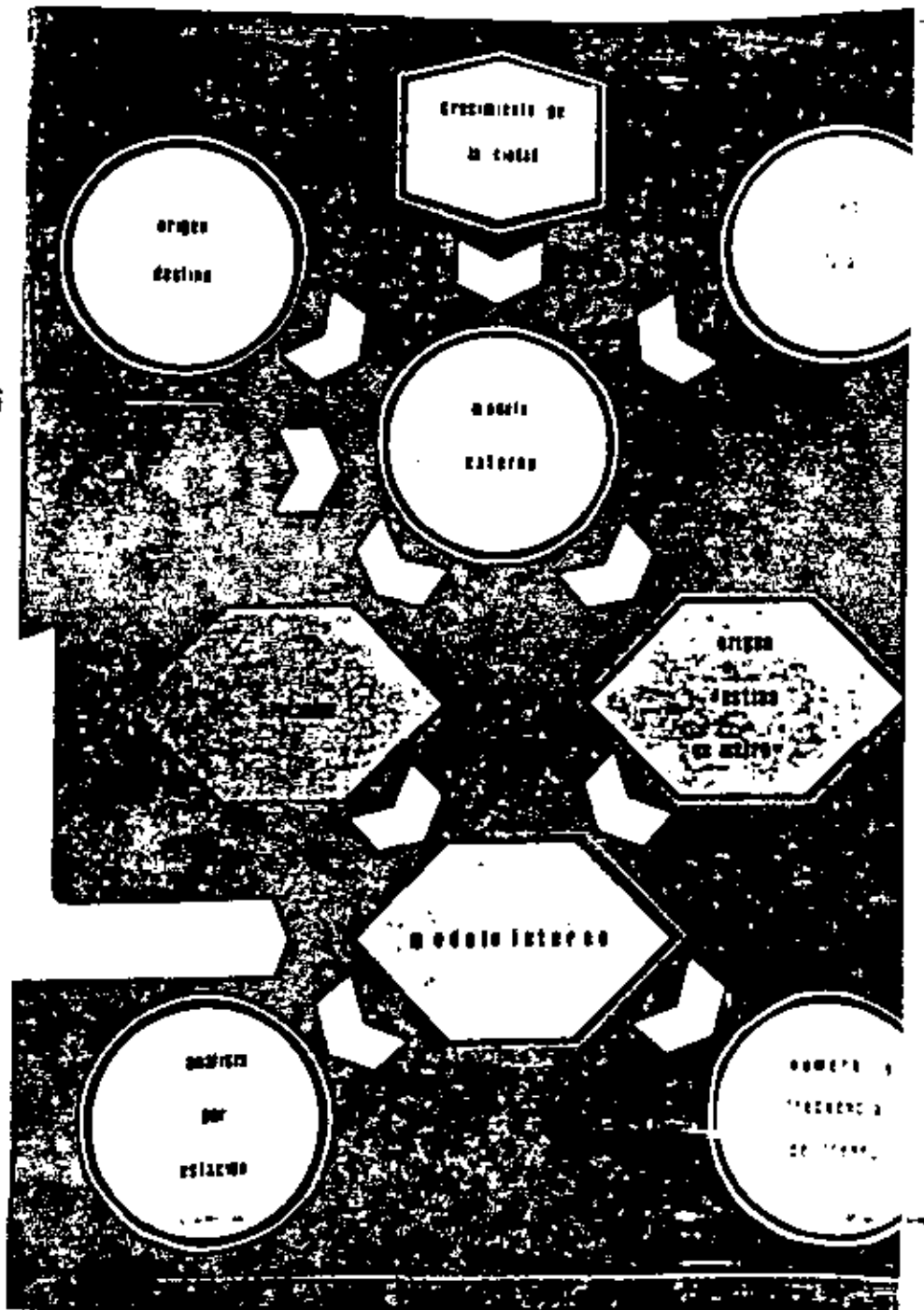
Técnicas de Simulación en Computadores.

NAYLOR, BALINTFY, BURDICK y KONG CHU (Liana Wiley)

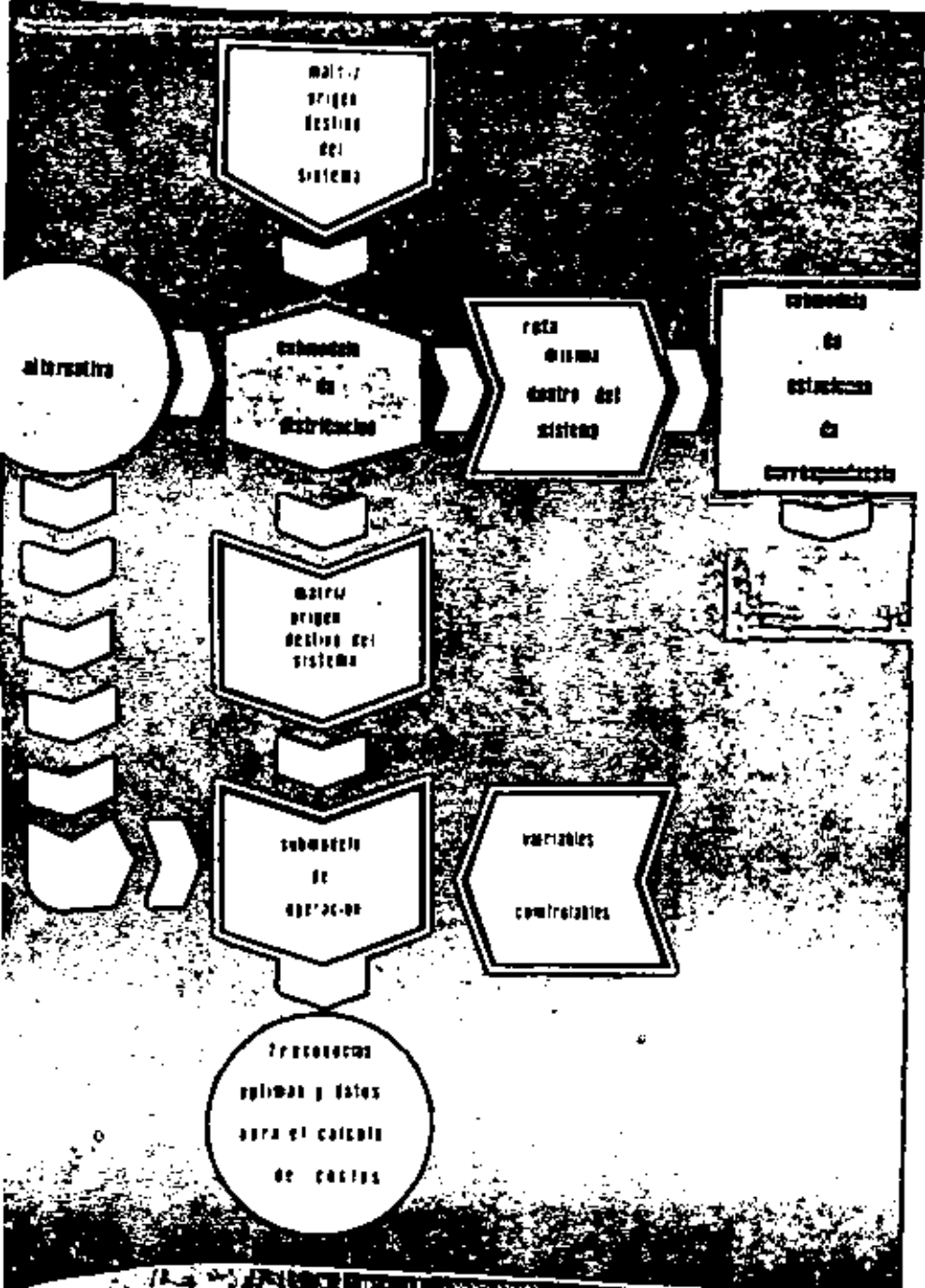


CUADRO DE
MEXIÓC

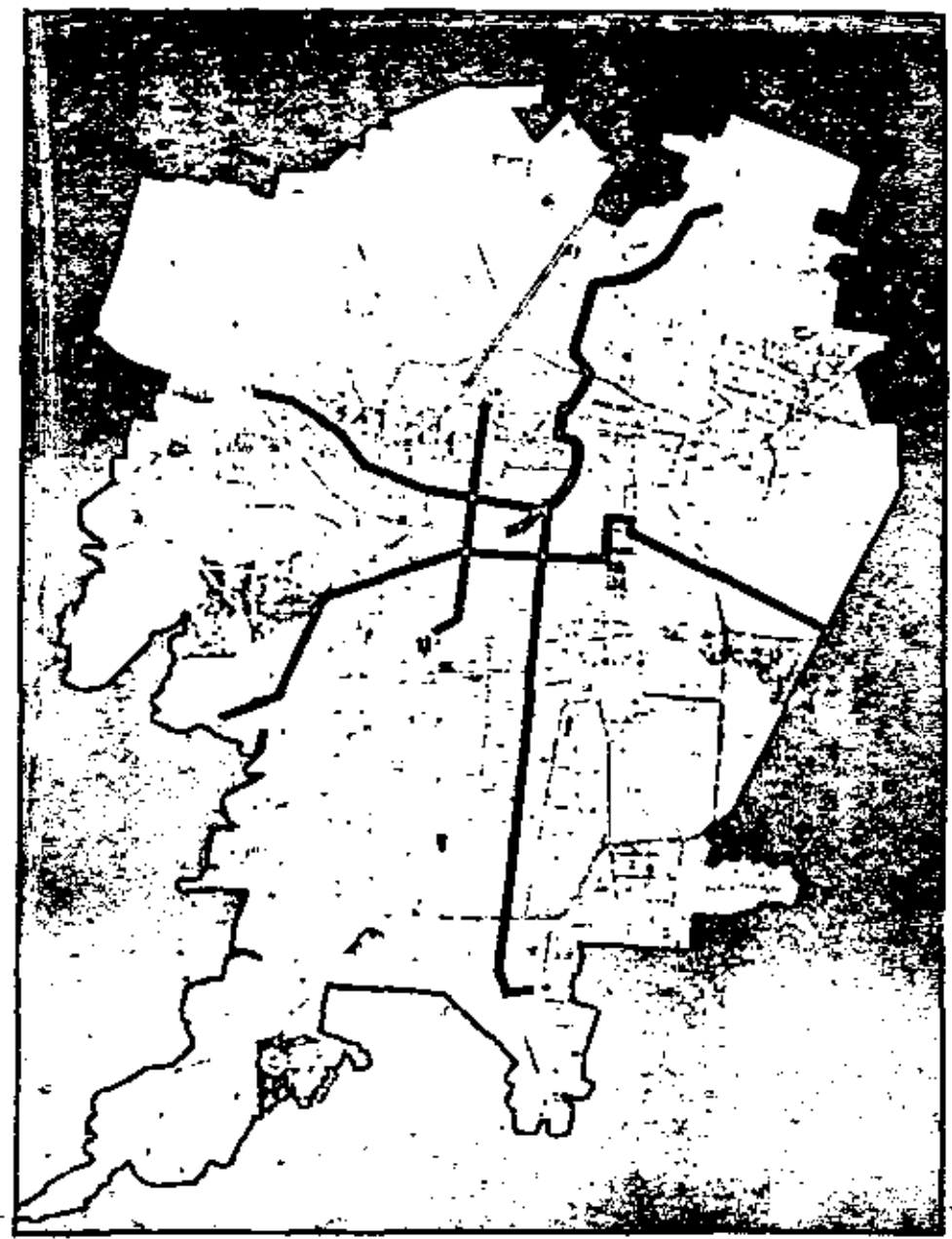

TRAZOS FACTIBLES DE FUTURAS LINEAS DEL METRO



MODELO INTERNO

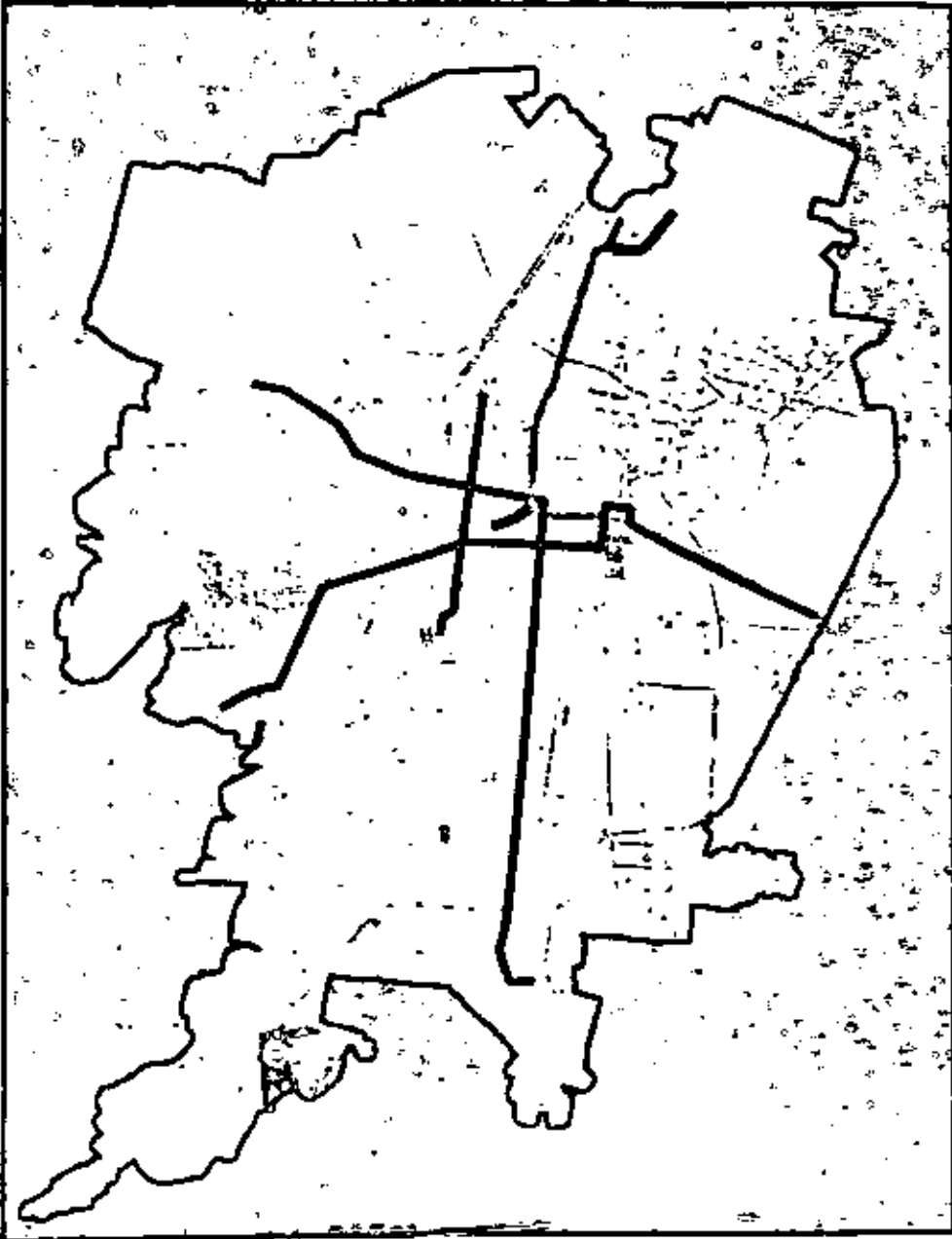


MODELO EXTERNO

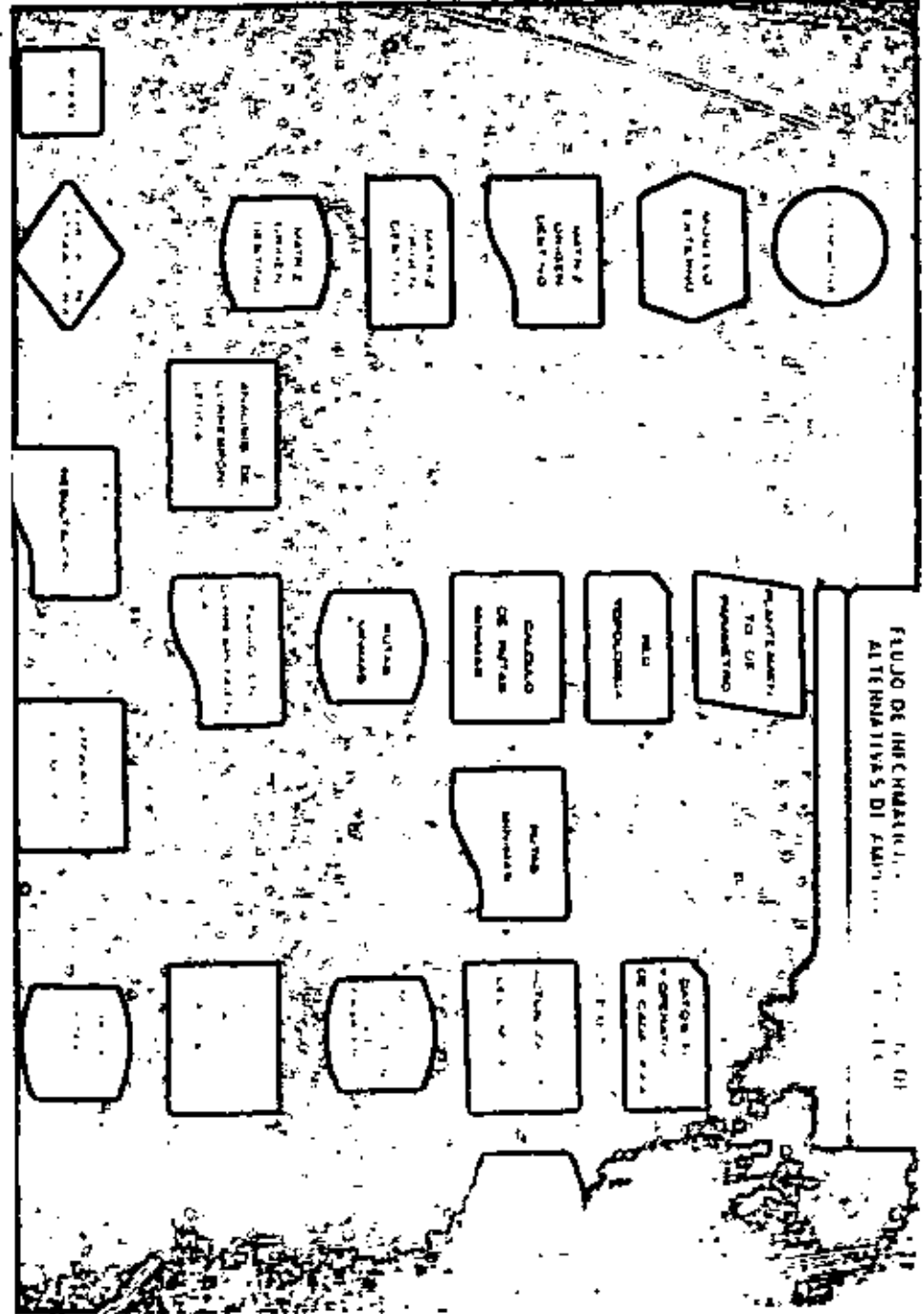


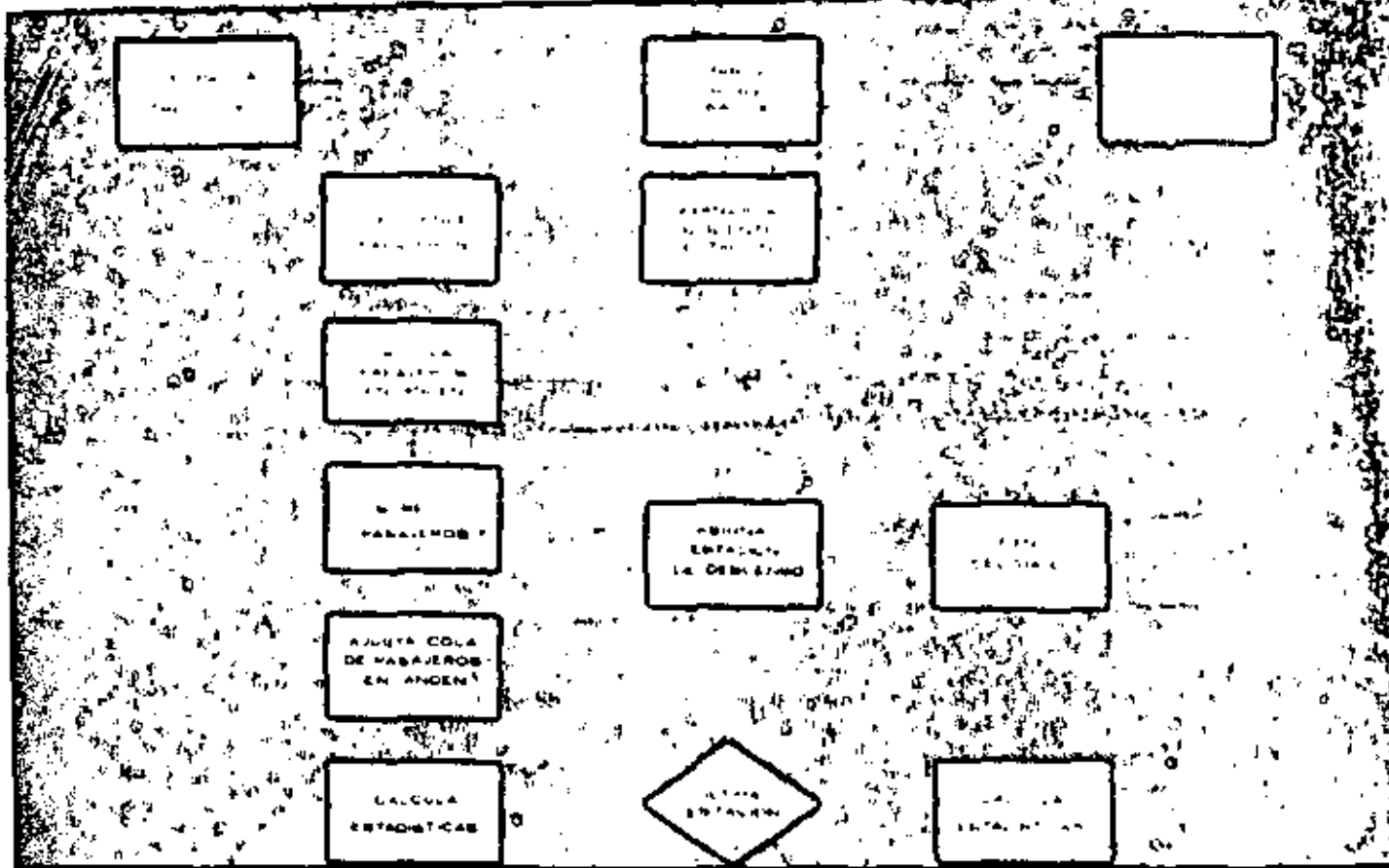
RUTA DE VIAJE SIMULADO CONDICIÓN ACTUAL

MODELO EXTERNO



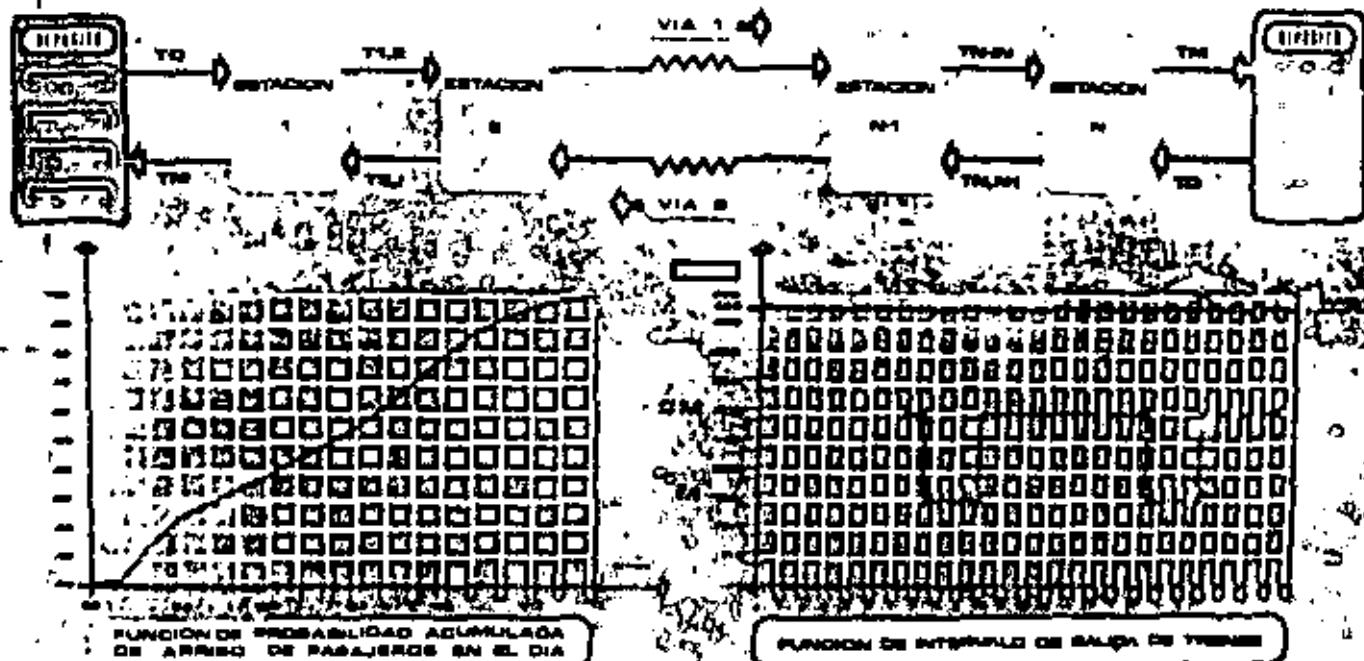
RUTA DE VIAJE SIMULANDO UNA LINEA PROPUESTA





MODELO DE OPERACION INTERNA DEL METRO

ESQUEMA GENERAL E HIPOTESIS



HIPOTESIS

- INFLUENCIA DE OTRAS LINEAS A TRAVES DE ESTACIONES DE CORRESPONDENCIA
- DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE ARRIBO DE PASAJEROS EN EL DIA REAL PARA TODAS LAS ESTACIONES
- SI EL TREN SE LLENA, LOS PASAJEROS ESPERAN EL SIGUIENTE
- LOS PASAJEROS SIEMPRE RECORREN EL CAMINO MAS RAPIDO
- SE MUEVA DE LAS 6.30 A LAS 6.30 HORAS (7 HRS)

ALTERNATIVA

RESULTADOS MODELO EXTERNO

TOTALES

LONGITUD /KM.

(OPERACION)

NUMERO DE ESTACIONES

ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

PASAJEROS CAPTADOS

PASAJEROS /KM.

COSTO CIVIL Y ELECTROMECANICA COSTO TOTAL (MILLONES DE PESOS)

INCREMENTO PASAJEROS /COSTO

PERCENTAJE DE INCREMENTO DE CAPTACION DE PASAJEROS

ALTERNATIVA

RESULTADOS MODELO EXTERNO

TOTALES

NUMERO DE TRENES (operación)

INTERVALO MINIMO

NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS

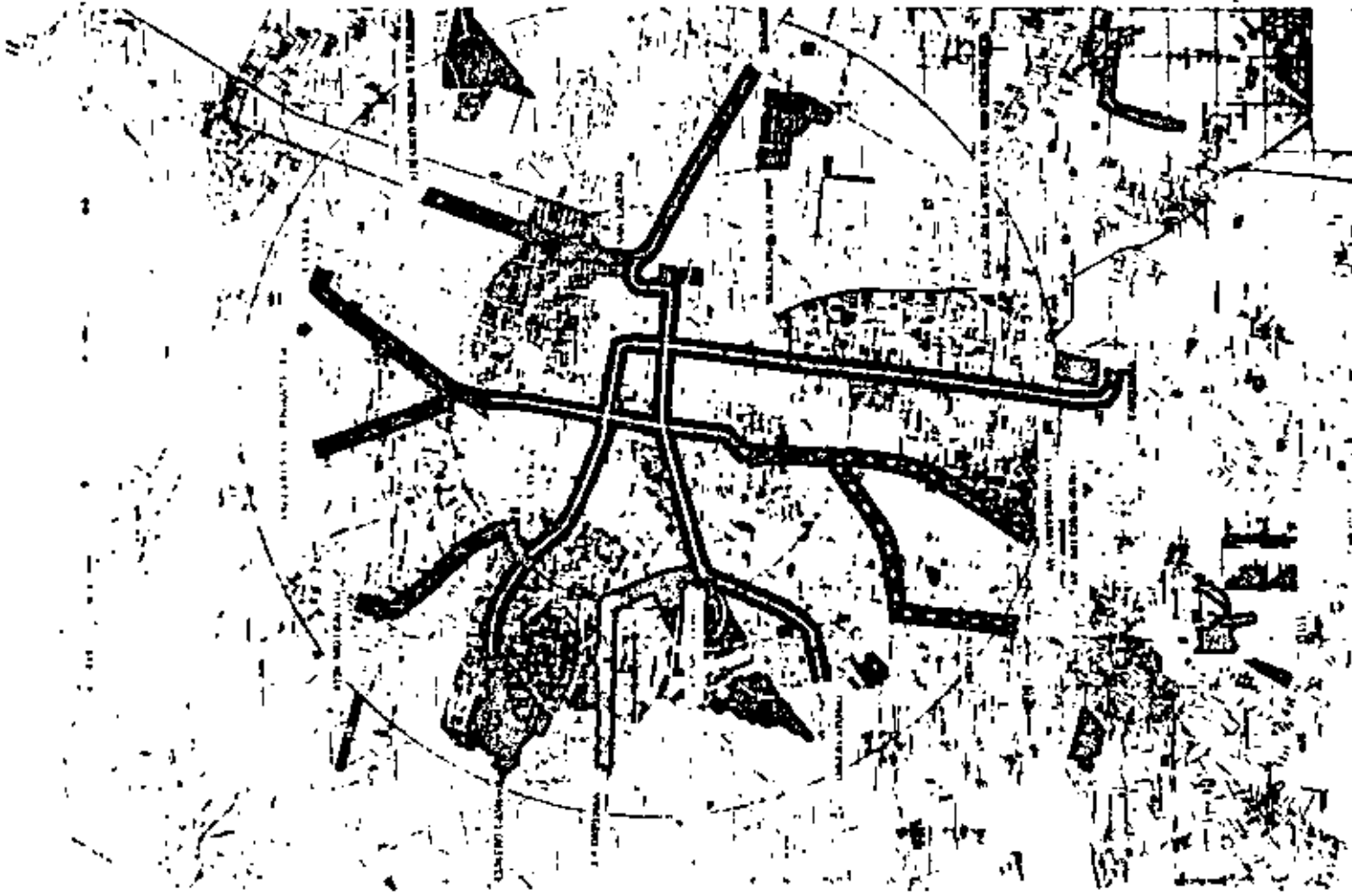
PASAJEROS TRANSPORTADOS
PASAJEROS CAPTADOS

PASAJEROS CAPTADOS
CARRO - KM.

PASAJEROS TRANSPORTADOS
CARRO - KM.

% OCUPACION MEDIA
DE TRENES

% TRENES COMPLETOS
EN EL DIA



ALTERNATIVA

20 NOV 78

RESULTADOS MODELO EXTERNO

	L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTALES
LONGITUD /KM. (OPERACION)	73	82	70	82	114	81	82	83			706
NUMERO DE ESTACIONES	11	12	10	11	12	13	11	9			88
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	1	4	3	1	1	1	1	1			11
PASAJEROS CAPTADOS	278288	441527	240358	578745	827879	242848	178378	317348			2758545
PASAJEROS /KM.	3812	5395	3441	6959	7264	2988	2187	3825			3907

INCREMENTO PASAJEROS /COSTO

322.5

ALTERNATIVA A



RESULTADOS MODELO INTERNO

20 NOV 78

NUMERO DE TRENES (OPERACION)

L	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	20	19	10	24	11	7	10	

TOTALES

125

INTERVALO MINIMO

150	150	150	220	200	330	225	350
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS

102,700	102,000	778,370	870,500	822,170	702,610	572,300	514,000
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

8,187,773

PASAJEROS TRANSPORTADOS PASAJEROS CAPTADOS

488	270	318	154	177	148	208	176
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

274

PASAJEROS CAPTADOS CARRO - KM.

400	840	601	124	70	70	70	124
-----	-----	-----	-----	----	----	----	-----

84

PASAJEROS TRANSPORTADOS CARRO - KM.

242	220	157	208	140	110	105	218
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

189

% OCUPACION MEDIA DE TRENES

44	50	27	46	30	22	32	49
----	----	----	----	----	----	----	----

38

% TRENES COMPLETOS EN EL DIA

11	10	1	50	86	1	1	8
----	----	---	----	----	---	---	---

18

ALTERNATIVA B



RESULTADOS MODELO EXTERNO

20 NOV 78

LONGITUD /KM. (OPERACION)

L	1	2	3	4	5	6	7	8
	7.3	19.3	5.8	7.0	8.0	22.2	8.8	

TOTALES

79.3

NUMERO DE ESTACIONES

11	24	8	8	8	22	8
----	----	---	---	---	----	---

90

ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

4	3	3	1	1	5	1
---	---	---	---	---	---	---

9

PASAJEROS CAPTADOS

261,366	1,110,217	242,894	342,201	281,020	382,757	70,858
---------	-----------	---------	---------	---------	---------	--------

2,894,493

PASAJEROS /KM.

35,804	57,939	44,266	43,317	38,376	19,385	7,704
--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------

33,979

OBRA CIVIL Y ELECTROMECANICA COSTO TOTAL (MILLONES DE P.S.)

1702.8

INCREMENTO PASAJEROS /COSTO

272.8

PORCENTAJE DE INCREMENTO DE CAPTACION DE PASAJEROS

ALTERNATIVA

20 NOV 78

RESULTADOS MODELO INTERNO

	L	1	N	E	A	S	TOTALES	
	1	2	3	4	5	6	7	
NUMERO DE TRENES (OPERACION)	18	42	12	8	12	21	7	120
INTERVALO MINIMO	150"	145"	230"	415"	255"	400"	800"	
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	898 856	1448 704	568 651	595 028	490 541	1117 589	217 412	5 336 712
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	344	139	230	174	189	307	160	1 98
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRIO - KM.</u>	4.8	0.7	8.3	15.1	8.8	5.7	3.1	7.7
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRIO - KM.</u>	10.7	11.2	21.5	28.3	15.2	17.4	8.7	15.3
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	34	48	32	48	23	38	25	34
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	1	28	2	45	33	88	1	24

ALTERNATIVA

20 NOV 78

RESULTADOS MODELO EXTERNO

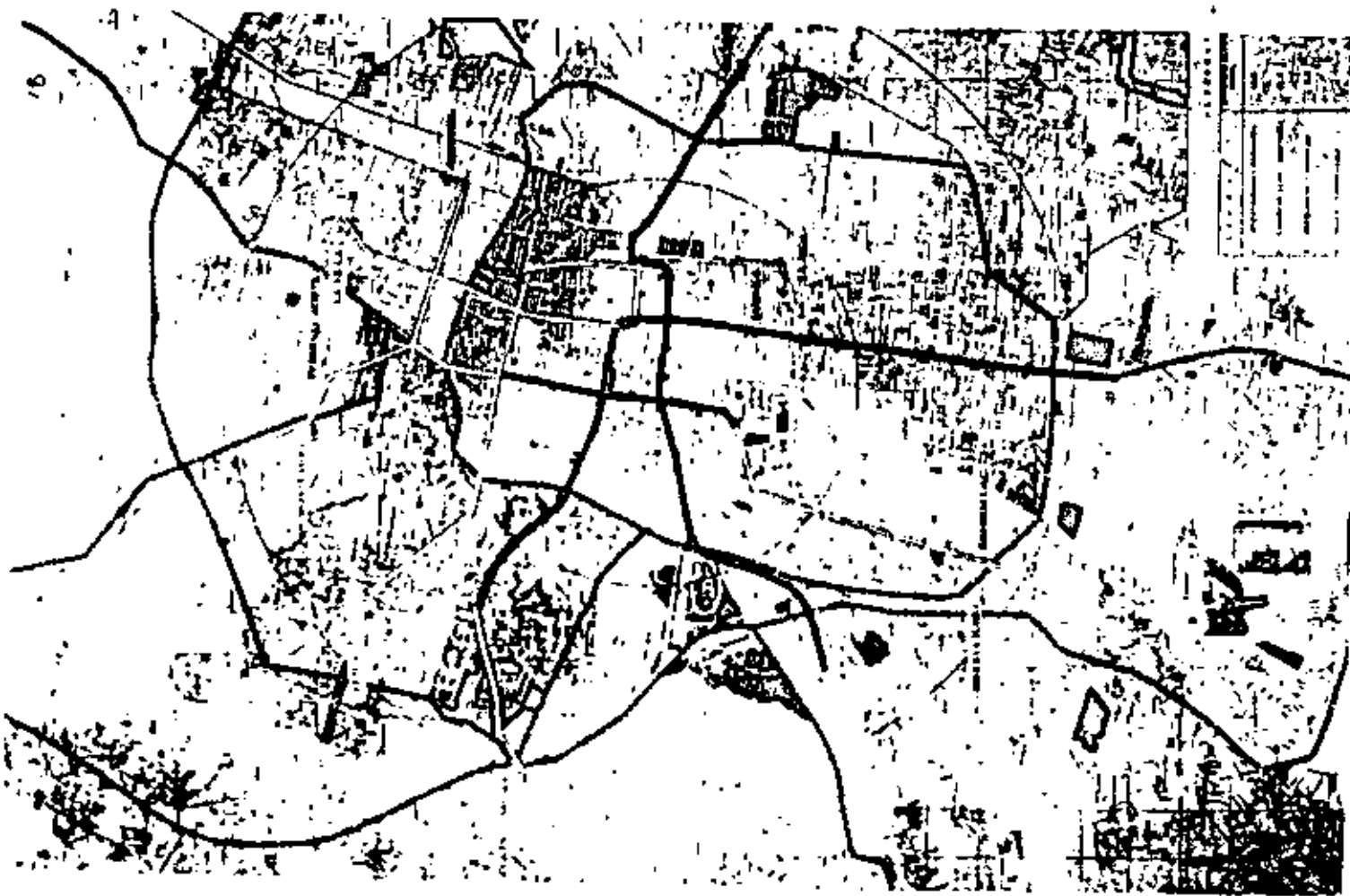
	L	1	N	E	A	B	TOTALES
	1	2	3	4	5	6	
LONGITUD /KM. (OPERACION)	15.5	21.4	14.9	7.7	12.8	11.2	83.5
NUMERO DE ESTACIONES	18	25	18	12	18	14	105
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	4	4	3	3	4	3	18
PASAJEROS CAPTADOS	789 528	674 512	514 608	280 738	288 488	328 533	2 907 378
PASAJEROS /KM.	51 582	31 519	34 537	37 758	23 214	28 333	34 711
COSTO CIVIL Y ELECTRICIDAD DEL SISTEMA ALTA TENSION EN DOLARES							2 887.0
INCREMENTO PASAJEROS /COSTO							324.2
PORCENTAJE DE INCREMENTO DE CAPTACION DE PASAJEROS							47

ALTERNATIVA

20 NOV 78

RESULTADOS MODELO INTERNO

	L	1	2	3	4	5	6	TOTALES
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	1410592	1003718	854230	481953	835243	575375		5171103
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	1.78	1.48	1.08	1.69	2.70	1.75		1.77
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRILLO - KM.</u>	8.1	6.0	8.4	14.1	5.0	11.4		7.0
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRILLO - KM.</u>	14.2	8.1	12.1	23.9	10.2	19.9		12.0
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	48	34	38	58	50	42		44
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	85	27	38	88	47	51		48



ALTERNATIVA D

20 NOV 78

RESULTADOS MODELO EXTERNO

	L	1	2	N	E	A	S	TOTALES
LONGITUD /KM.	155	214	128	78	136	89		80.0
NUMERO DE ESTACIONES	18	25	18	10	18	8		94
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA		3	4	4	3	2		9
PASAJEROS CAPTADOS	883.850	888.388	699.188	179.230	155.837	228.547		2.788.967
PASAJEROS /KM.	55733	32168	54818	22289	11459	24781		34.967

COSTO TOTAL (MILLONES DE DOLARES)

INCREMENTO PASAJEROS /COSTO

TASA DE AUMENTO DEL CAPACIDAD DE PASAJEROS

2.100.000
200.000
2.300.000

ALTERNATIVA D

RESULTADOS MODELO INTERNO

	L	1	2	N	E	A	S	TOTALES
NUMERO DE TRENES (operacion)	28	42	27	8	9	8		120
INTERVALO MINIMO	2'10"	1'55"	2'00"	0'30"	0'55"	4'15"		
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1.297.129	1.113.214	1.004.881	498.893	379.105	411.753		4.701.975
PASAJEROS TRANSPORTADOS / PASAJEROS CAPTADOS	1.50	1.62	1.44	2.86	2.43	1.87		1.68
PASAJEROS TRANSPORTADOS / CARRO - KM.	10.6	5.4	8.8	7.8	4.2	9.9		7.6
PASAJEROS TRANSPORTADOS / CARRO - KM.	15.8	8.7	12.7	22.3	10.1	18.6		12.8
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	49	38	45	82	38	27		62
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	97	10	8	82	8	17		34

TABLA COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
LONGITUD (KM) (OPERACION)	70.1	70.3	83.6	81.1
NUM. ESTACIONES	66	60	103	84
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	1	1	10	3
COSTO (MILLONES DE PESOS)	2,027.4	2,222.0	2,007.0	2,068.4
PASAJEROS CAPTADOS	2,750,549	2,804,000	2,807,270	2,791,907
PASAJERO / KM.	39,097	39,870	34,777	34,007
INC. DE PASAJEROS / COSTO	923.5	222.0	324.2	708.4
% INC. CAPACITACION PASAJEROS	68	36	47	62
NUMERO DE TRENES EN OPERACION	126	120	181	120
NUMERO DE PASAJ. TRANSPORTADOS	6,187,779	6,326,770	6,179,102	6,201,375
PASAJEROS TRANS/PASAJ. CAPTADOS	2,247	2,280	2,177	2,230
PASAJ. CAPTADOS / CARRO KM.	0.4	0.7	0.8	0.8
PASAJ TRANS / CARRO KM.	10.0	15.3	13.0	12.8
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	30	31	44	62
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	10	24	40	34

ALTERNATIVA 1023 RESULTADOS MODELO EXTERNO

1 MAYO 1975

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
LONGITUD /KM. (OPERACION)	15.5	21.4		12.8			49.7
NUMERO DE ESTACIONES	18	25		10			53
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	2	2		2			6
PASAJEROS CAPTADOS	782,441	842,457		854,842			2,479,740
PASAJEROS /KM.	45,310	39,414		51,087			44,264
COSTO TOTAL							1770.4
INCREMENTO PASAJEROS / COSTO TOTAL							349.1
PERCENTAJE DE INCREMENTO DE CAPTACION DE PASAJEROS							28

ALTERNATIVA D 23 RESULTADOS MODELO INTERNO

1 MAYO 1975

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4	5	6	
NUMERO DE TRENES (aproximado)	28	48	28				108
INTERVALO MINIMO	2'10"	1'45"	2'10"				
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1 051 700	1 112 550	850 830				3 055 180
PASAJEROS TRANSPORTADOS PASAJEROS CAPTADOS	1.40	1.32	1.38				1.39
PASAJEROS CAPTADOS CARRO - KM.	87	81	897				748
PASAJEROS TRANSPORTADOS CARRO - KM.	12.0	8.0	12.2				10.4
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	43	32	43				39
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	07	5	5				24

ALTERNATIVA D 24 RESULTADOS MODELO INTERNO

1 SEPT. 75

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4	5	6	
LONGITUD /KM. (OPERACION)	152	211	135		92		590
NUMERO DE ESTACIONES	13	25	18		18		70
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	3	3	2		2		5
PASAJEROS CAPTADOS	749.842	700.729	811.183		261.583		2 323 297
PASAJEROS /KM.	49.332	33 210	45 271		28.431		39 378
COSTO TOTAL							1272.9
INCREMENTO PASAJEROS / COSTO TOTAL							217

ALTERNATIVA **D-24** RESULTADOS MODELO EXTERNO

1 MAY. 75 L I N E A B TOTALES

LONGITUD /KM. (OPERACION)	152	211	47	97	507
NUMERO DE ESTACIONES	18	25	7	10	61
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	3	3	2	2	10
PASAJEROS CAPTADOS	712,837	738,194	243,721	289,578	1,976,428
PASAJEROS /KM.	46,884	34,808	51,858	31,478	39,371

COSTO TOTAL \$1,258.8

INCREMENTO PASAJEROS / COSTO TOTAL 284.7

PORCENTAJE DE INCREMENTO DE CAPTACION DE PASAJEROS 1.1

ALTERNATIVA **D-24** RESULTADOS MODELO INTERNO

1 MAYO 75 L I N E A B TOTALES

NUMERO DE TRENES	28	38	6	1	81
INTERVALO MINIMO	2'05"	2'05"	3'40"	4'50"	
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1,025,487	1,178,881	318,304	490,843	3,012,695
PASAJEROS TRANSPORTADOS PASAJEROS CAPTADOS	144	181	138	188	152
PASAJEROS CAPTADOS CARRO - KM.	83	83	18.1	11.5	83
PASAJEROS TRANSPORTADOS CARRO - KM.	12.0	18.0	21.0	18.5	12.5
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	40.8	30.8	24.8	85.3	38.5
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	48.8	27.8	8.0	72.8	35.1

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

- 30
- Alternativa D23⁴ Resultados Modelo Externo
 - Alternativa D23⁴ Resultados Modelo Interno
 - Alternativa D24 Mapa
 - Alternativa D24 Resultados Modelo Externo
 - Alternativa D24 Resultados Modelo Interno