FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

Fecha	Duración	Tema	Profesor
11 de Junio, 77	10 a 13 h	INTRODUCCION Ingeniería de Sistemas. Equipos interdisciplinarios. Metodología de la Ingeniería de Sistemas. Teoría Tricotiledónea del diseño de Sistemas. Los cinco pasos fundamentales en el estido de Sistemas	M. en I. Alberto Moreno Bonett
17 de Junio	18 a 21 h	EL ENFOQUE SISTEMICO EN LA ADMINISTRACION	Dr, Miguel Duhalt Krauss
18 de Junio	10 a 13 h	ESPECIFICACIONES DE ENTRADA-SALIDA, IMPLANTACION, TECNOLOGIA Y FACTIBILIDAD. Diseño de Sistemas. Tecnología del Cotiledón. Implantación de diferentes sistemas. El Cotiledón de factibilidad.	Dr. Jesús Acosta Flores
24 de Junio	18 a 21 h	EL ENFOQUE SISTEMICO EN LA PLANEACION CONJUNTA DEL SECTOR COMERCIO	Dr. Juan Prawda
25 de Junio	10 a 13 h	ORDENAMIENTO DE MERITO, PRUEBAS Y DISEÑO DE SISTEMAS Ordenamiento de mérito en el cotiledón de entrada-salida en el de tecnología y en el de factibilidad. Objetivo de la prueba. Objetivos del diseño de sistemas. Desarrollo de modelos teóricos de sistemas.	Dr. Jesús Acosta Flores
1° de Julio	18 a 21 h	TEORIA GENERAL DE OPTIMIZACION El problema de programación matemática. Optimización lineal. Métodos principales de solución. Interpretación económica y aplicaciones	Dr. Sergio Fuentes Maya
2 de Julio	10 a 12 h	INVERSION OPTIMA DE SERVICIOS DE INGENIERIA	Dr. Emilio Rosenblueth

Fecha	Duración	Tema	Profesór
8 de Julio	18 a 21 h	OPTIMIZACION NO LINEAL Y ENTERA Formula ción y métodos principales de solución. Inter_ pretación económica y aplicaciones.	Dr. Miguel Cobián Sela
9 de Julio	10 a 13 h	SIMULACION Fundamentos de la teoría de simulación matemática y su aplicación al análisis y diseño de diferentes sistemas.	M. en I. Leonard Rapoport
15 de julio	18 a 21 h	ECONOMETRIA Modelos económicos. Correlación lineal simple. Mode- lo lineal multivariable. Modelos multiecuacionales. Apli caciones: M^{O}delos predictivos (Industria de la Construc- ción). Modelos normativos (Modelo multiecuacional de la economía para evaluar tecnología).	Dr. Leonel Corona
16 de julio	10 a 13 h	ANALISIS DE DECISIONES El modelo de decisión. El problema de decisión sin datos empíricos. Problema de decisión con datos empíricos. Descripción de objetivos múltiples. Aplicaciones.	Dr. Octavio Rascón Chávez
22 de Julio	18 a 21 h	ANALISIS DE INVERSIONES Y APLICACIONES Inversiones dinámicas, estáticas, deterministas, alea- torias, con y sin restricciones presupuestales, depen - dientes e independientes.	Dr. Felipe Ochoa Rosso
23 de Julio	10 a 13 h	SISTEMAS DE INFORMACION Fundamentos del Análisis y diseño de sistemas de infor- mación.	M. en I. Sergio Zúñiga Barrera
29 de julio	18 a 21 h	ASPECTOS DISCRETOS DE LA FIABILIDAD ORIENTADA A SISTEMAS ADMINISTRATIVOS	M. en I. Francisco J. Jauffred

'edcs.

Fecha	Duración	Tema	Profesor
30 de Julio	10 a 13 h	EL ENFOQUE SISTEMICO PARA LA PLANEACION DEL DESARROLLO URBANO	M. en C. Jaime Luna Traill
5 de Agosto	18 a 21 h	ALGUNAS APLICACIONES A LOS SISTEMAS URBANOS	Dr. Melchor Rodríguez Caballero
6 de Agosto	10 a 13 h	SISTEMAS DE MODELACION PARA LA PROSPECTIVA DEL DESARROLLO DE MEXICO	Dr. Felipe Lara Rosano
12 de Agosto	18 a 21 h	SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y DESCRIPCION DEL GEOX	Dr. Enrique Calderón Alzati
13 de Agosto	10 a 13 h	ANALISIS ECONOMICO EN LA INGENIERIA DE SISTEMAS	Ing. Carlos Uriegas Torres
19 de Agosto	18 a 19:30	APLICACIONES AL PLAN NACIONAL HIDRAULICO	M. en I. Fernando González Villarreal
	19:30 a 21	LA PRACTICA EN LA EVALUACION DE PROYECTOS DE OBRAS HIDROAGRICOLAS	M. en I. Alejandro González Cueto
20 de Agosto	10 a 11:30	ALGUNOS COMENTARIOS SOBRE EL SISTEMA NACIONAL DE INFORMACION	Dr. Renato Iturriaga de la Fuente
	11:30 a 13	ALGUNAS APLICACIONES EN EL SECTOR SALUD	Dr. Rafael Aréchiga Gallegos
26 de Agosto	18 a 21 h	INFORMATICA EN ADMINISTRACION Y PROGRAMACION	M. en I. Gustavo Argil Carriles
27 de Agosto	10 a 13 h	EL SISTEMA VIAL Y LA ORDENACION DEL TERRITORIO	Ing. Daniel Díaz Díaz
2 de Sept.	18 a 21 h	ENFOQUE SISTEMICO DEL DESARROLLO INTRAURBANO	M. en C. Enrique Santoyo Meza
3 de Sept.	10 a 13 h	UNA METODOLOGIA DE MODELACION PARA PLANEACION MACROREGIONAL.	Dr. Miguel Angel Cárdenas González
10 de Sept.	10 a 13 h	CONCEPTOS ADAPTIVOS EN LA ADMINISTRACION	M. en I. Francisco J. Jauffred Mercado M. en I. Alberto Moreno Bonett
10 de Sept.	13 a 14 h	MESA REDONDA, EVALUACION DEL CURSO Y ENTREGA DE DIPLOMAS.	

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DR. JESUS ACOSTA FLORES
Asesor del C. Director de la Dirección
General de Ingeniería de Sistemas
S. A. H. O. P.
Ave. Universidad s/n frente a Mitla
México 12, D.F.
Tel.: 590.30.85

DR. RAFAEL ARECHIGA GALLEGOS
Director
Instrumentación, Sistemas e Informática
Secretaría de Salubridad y Asistencia
Reforma 503-3°
México 5, D.F.
Tel.: 553.75.42

M. EN I. GUSTAVO ARGIL CARRILES
Jefe del Departamento de Sistemas de Computación
S. A. H. O. P.
Av. Universidad s/n frente a Mitla
México 12, D.F.
Tel.: 590.30.63

DR. ENRIQUE CALDERON ALZATI
Director General
Sistemas y Procesos Electrónicos
Secretaría de Programación y Presupuesto
Corregidora 8 P.B.
Palacio Nacional
México 1, D.F.
Tel.: 522.56.94

DR. MIGUEL ANGEL CARDENAS GONZALEZ
Presidente de Planificación y Desarrollo de Sistemas, S.A.
Florencia No. 39 - 1°
México 6, D.F.
Tel.: 533.52.04

DR. JOSE MIGUEL COBIAN SELA
Director
Cobián y Asociados, S.A.
Campeche No. 289 - 4°
México 11, D.F.
Tel.: 574.51.48 y

'edcs.

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DR. LEONEL CORONA TREVIÑO
Investigador
Departamento del Doctorado
Facultad de Economía
UNAM
México 20, D.F.
Tel.: 548.73.81

ING. DANIEL DIAZ DIAZ
Director General
Análisis y Programas
S. A. H. O. P.
Xola 1755
México 12, D.F.
Tel.: 530.99.51

LIC. MIGUEL DUHALT KRAUSS
Oficial Mayor
Secretaría de Comercio
Av. Cuauhtémoc 80-8°
México, D.F.
Tel.: 578.78.68

DR. SERGIO FUENTES MAYA
Jefe
Sección de Investigación de Operaciones
D. E. S. F. I.
U.N.A. M.
México 20, D.F.
Tel.: 548.58.77

M. EN I. ALEJANDRO GONZALEZ CUETO
Director General de Estudios
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
Reforma 69-17 °
México 1, D.F.
Tel.: 546.80.76 y 592.30.21

M. EN I. FERNANDO GONZALEZ VILLARREAL
Vocal Ejecutivo
Comisión del Plan Nacional Hidráulico
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
Tepic No. 40-5°
Col. Roma
México 7, D.F.
Tel.: 584.74.52

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DR. RENATO ITURRIAGA DE LA FUENTE
Coordinador General
Sistema Nacional de Información
Secretaría de Programación y Presupuesto
Dr. Mora 15-8°
México, D.F.
Tel.: 585.21.11

M. EN I. FRANCISCO J. JAUFFRED MERCADO
Director General
Ingeniería de Sistemas
S.A.H.O.P.
Av. Universidad s/n frente a Mitla
México 12, D.F.
Tel.: 590.30.29

DR. FELIPE LARA ROSANO
Director
Fundación Barros Sierra
Tacuba 5 Mezzanine
México 1, D.F.
Tel.: 510.49.28

M. EN C. JAIME LUNA TRAILL
Director General
Planeación de los Asentamientos Humanos
S.A.H.O.P.
Insurgentes Sur 1443 Piso RG
México 19, D.F.
Tel.: 563.64.28

M. EN I. ALBERTO MORENO BONETT
Jefe del Departamento de Análisis de Sistemas
S.A.H.O.P.
Av. Universidad s/n frente a Mitla
México 12, D.F.
Tel.: 590.30.41

DR. FELIPE OCHOA ROSSO
Director General
Ochoa Rosso y Asociados, S.C.
Av. Revolución 1909-7°
México 20, D.F.
Tel.: 548.9211

DR. JUAN PRAWDA
Director
Unidad de Estudios y Proyectos
Secretaría de Comercio
Alfonso Reyes 30-18°
México 11, D.F.
Tel.: 586.08.44 E.161

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

M. EN I. LEONARD RAPOPORT YAWITZ
Gerente General
Procesos y Sistemas de Información, S.A.
Grupo ICA
Minería 145 Edif. A P.B.
México 18, D.F.
Tel.: 516.04.60 E.438

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ
Jefe de la División de Estudios Superiores
Facultad de Ingeniería
U.N.A.M.
México 20, D.F.
Tel.: 548.09.50

DR. MELCHOR RODRIGUEZ CABALLERO
Director General
Cía. Rodríguez Caballero
Tuxpan 10 Desp. 804
México 7, D.F.
Tel.: 564.87.48

DR. EMILIO ROSENBLUETH
Investigador
Instituto de Ingeniería, UNAM
México 20, D.F.
Tel.: 550.05.06

M. EN C. ENRIQUE SANTOYO MEZA
Coordinador Técnico
Subsecretaría de Asentamientos Humanos
Rubén Dario 13-6°
Polanco
Tel.: 531.58.41

ING. CARLOS URIEGAS TORRES
Jefe de la Unidad de Informática
Petróleos Mexicanos
Edificio 1938-4° Marina Nal.
México, D.F.
Tel.: 531.63.25

M. EN I. SERGIO ZUÑIGA BARRERA
Director
Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas
Insurgentes Sur 586-402
México 12, D.F.
Tel.: 536.91.19

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

INTRODUCCION

LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ING. ALBERTO MORENO BONETT

JUNIO DE 1977.

LA INGENIERIA DE SISTEMAS*

POR

ALBERTO MORENO BONETT

CONTENIDO

	PAG.
1.- Introducción	1
2.- Naturaleza de los sistemas	2
3.- Ingeniería de Sistemas	5
3.1.- Definición	6
3.2.- Fases de la Ingeniería de Sistemas	6
3.2.1.- Estudio Inicial de los Sistemas	7
3.2.2.- Análisis de Sistemas	8
3.2.2.1- Definición de Objetivos	8
3.2.2.2- Formulación de Medidas de Efectividad	8
3.2.2.3- Generación de Alternativas	9
3.2.2.4- Evaluación	11
3.2.3.- Diseño de Sistemas	11
3.2.3.1- Antecedentes	11
3.2.3.2- El Proceso de Diseño	14
3.2.3.3- Definición del Problema	15
3.2.3.4- Diseños preliminar y final	16
3.2.4.- Estudios durante el Desarrollo	20
3.2.5.- Ingeniería de Proyecto	20

* Conferencia sustentada en el curso de "Fundamentos y Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas". Centro de Educación Contínua, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. Junio de 1977.

CONTENIDO PAG.

4.- La Ingeniería de Sistemas y el Método Científico 20

5.- La Ingeniería de Sistemas, la Informática y la Computación. 21

6.- Bibliografía. 30

LA INGENIERIA DE SISTEMAS *

P o r

ALBERTO MORENO BONETT

1.- Introducción

La rápida transformación que identifica a nuestra época se manifiesta en todos los ámbitos y en todas las ramas del conocimiento humano. Sus efectos son tan inusitados que es imposible lograr captarlos en toda su plenitud; más aún, las fuerzas que generan dicha transformación aumentan a un ritmo acelerado obligando a predecir cambios y a buscar soluciones adecuadas a la problemática impuesta por esta dinámica colectiva.

Es claro que los ejecutivos, profesionales y técnicos de los Sectores Público, Privado y Académico no son ajenos a esta situación que les lleva a realizar muchas actividades diferentes y complejas.

Deben definir y estructurar sus problemas, formular un método de solución, llevar a cabo cálculos; obtener, evaluar e implantar los resultados. Deben tomar decisiones continuamente investigando soluciones alternas, resolviendo conflictos y haciendo juicios de valor consisten-

* Conferencia sustentada en el curso de "Fundamentos y Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas".

tes con las restricciones a que estén sujetos. Este proceso lo llevan a cabo empleando su conocimiento técnico; su juicio, intuición y experiencia así como su creatividad y su imaginación.

El proceso antes descrito recibe un poderoso auxilio de la Ingeniería de Sistemas ya que ésta lo ordena, complementa, racionaliza y optimiza.

2.- Naturaleza de los Sistemas

No cabe duda que las acepciones de la palabra sistema son múltiples, algunos la usan como sinónimo de procedimiento, otros como sinónimo de rutina sin embargo, aquí, y es el sentido que en esta rama de la Ingeniería debe dársele, se emplea para representar un todo integrado y armónico en donde cada una de las partes ha sido diseñada con objeto de lograr un fin común óptimo.

Ahora bien, ¿Cuáles son las características principales de los sitemas así definidos?.

Seis son estas características:

a) Agrupamientos sumamente complejos de seres humanos y máquinas.

De ahí que sea muy común que para iniciar un estudio de sistemas se haga uso del concepto cibernético de "caja negra" (figura 1) en

la que se encierran dichos grupos destacando los insumos de que hace uso y los productos que se obtienen del sistema.

b) Pueden ser descompuestos en subsistemas, es claro que esta descomposición está condicionada por la naturaleza misma del problema, sin embargo, gracias a esta característica, tan frecuentemente encontrada, es posible clasificarlos (figura 2) v. g. en paralelo, en serie, de ramas convergentes, de ramas divergentes, con alimentación hacia adelante, con retroalimentación, etc... y disponer de técnicas adecuadas para su análisis.

c) Existe interacción entre los subsistemas. Este es un hecho que se constata continuamente y, posiblemente, una de las grandes virtudes de la Ingeniería de Sistemas sea el poder tomarlo en cuenta explícitamente, buscando así la máxima productividad conjunta. Este enfoque contrasta con el método tradicional de analizar por partes, desdibujando la interacción, la cual, de hecho, obliga a que los insumos a un subsistema sean productos de otro, como ocurre muchísimas veces en la realidad.

d) Existe un orden jerárquico entre los subsistemas. Esta característica también es fácilmente constatable. De ahí que cada vez que se estudia un sistema sea necesario referirlo a su ámbito. Así, el ámbito del subsistema "Dirección General de Construcción de

Carreteras Federales" es el sistema Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. El del "Sistema Aeroportuario para el Area Metropolitana del Valle de México" es el Valle de México, etc.. Luce como evidente el que todo sistema se encuentre referido a su ámbito y que afecta y sea afectado por éste.

e) Los sistemas evolucionan con el tiempo. También de este hecho es fácil percatarse, y es claro que ésto también es cierto para el ámbito. Esta propiedad acarrea dos consecuencias básicas. La primera es que los estudios de sistemas deben ser dinámicos. La segunda es que normalmente deben ser estudios aleatorios. La primera consecuencia es evidente, si los sistemas evolucionan con el tiempo su análisis debe tomar en cuenta explícitamente esta característica. Por otra parte nadie conoce el futuro, siempre existirá incertidumbre en los que al devenir se refiere; normalmente también es muy difícil que alguien conozca todo en lo referente a un sistema. De ahí que al analizar sistemas generalmente se cae en modelos probabilísticos cuando se desea retratar la realidad de la manera más fiel posible.

f) Todo sistema debe tener un objetivo. Si lo que distingue una conducta racional de una irracional es precisamente el hecho de actuar conforme a un objetivo, con mayor o igual razón un sistema, y el análisis que se haga de él, debe estar guiado por un objetivo o -

varios. Tal vez el definir objetivos sea la etapa más importante y trascendente de un estudio de sistemas. De nada vale el usar técnicas sumamente elaboradas o extraordinariamente simplistas si no están perfectamente especificados los objetivos.

3.- Ingeniería de Sistemas

Un hecho que merece la pena hacer resaltar es que normalmente los objetivos están en conflicto, se busca tiempo de acceso mínimo a un aeropuerto pero también capacidad por espacio aéreo adecuado, costo mínimo de una obra pero vida útil máxima, etc... Aquí también la Ingeniería de Sistemas es de gran valor, ya que su enfoque global toma explícitamente en cuenta los objetivos en conflicto, y los pondera cuantitativamente buscando el balance óptimo, siempre desde un punto de vista integral.

Conservando en mente las características principales de los sistemas - resultan más claras las ideas de Chestnut:

"El método de la Ingeniería de Sistemas reconoce que cada sistema es un todo integrado compuesto de diversas estructuras y subfunciones especializadas. Reconoce además que cualquier sistema tiene un cierto número de objetivos, que el balance entre ellos puede diferir ampliamente de sistema a sistema. El método busca optimizar las funciones globales del sistema de acuerdo con una ponderación de los objetivos y -

obtener así máxima compatibilidad entre sus partes".

3.1.- Definición [21]

El profesor G. Jenkins, Jefe del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Lancaster en Inglaterra y Consultor tanto de empresas como del gobierno del Reino Unido, sugiere que las ideas anteriores pueden sintetizarse diciendo que "La Ingeniería de Sistemas está relacionada con el uso óptimo de los recursos de todas clases" y propone como definición la siguiente:

"La Ingeniería de Sistemas es la ciencia encargada de diseñar sistemas complejos en su totalidad, asegurando que los subsistemas que los componen son diseñados,interrelacionados, controlados y operados de la manera más efectiva".

Cabe aclarar que el trabajo del profesor Jenkins apareció publicado en 1969 en el volumen 1, del boletín "Ingeniería de Sistemas", esto dará una idea de lo reciente que es la creación de estas técnicas y de la rapidez con que, gracias al desarrollo del país, es posible aprovechar esta ciencia de la mayor importancia.

3.2.- Fases de la Ingeniería de Sistemas

Establecida la definición, y percatándose de su equivalencia con la propuesta por Hall, conviene mencionar brevemente como opera la Ingenie-

ría de Sistemas. Siguiendo a Jenkins y a Wymore, se pueden distinguir las siguientes fases: Estudio Inicial de los Sistemas, Análisis o Diseño de Sistemas (dependiendo si se trata de un sistema existente o de uno por construirse), estudios durante el Desarrollo del Proyecto y la Ingeniería de Proyecto.

3.2.1.- Estudio Inicial de los Sistemas

La primera etapa consiste en definir tanto el sistema que va a estudiar como su ámbito. Este es un proceso de análisis en el cual el sistema debe descomponerse en sus subsistemas más importantes indicando sus interacciones y estructura a través de cajas negras como las que se ejemplificaron en la figura 2. El grado de descomposición debe ser suficientemente flexible, esto es,debe obtenerse una descripción del sistema que pueda modificarse conforme se acumule mayor conocimiento y experiencia durante el desarrollo del proyecto. Asimismo, se destaca claramente el papel que juega el sistema dentro de su ámbito y las características de éste. La información obtenida permitirá formular un plan, integrar un equipo de trabajo -generalmente interdisciplinario- y elaborar un programa grueso de acción.

3.2.2.- Análisis de Sistemas

En este momento se inicia la segunda fase llamada Análisis de Sistemas en donde se puede distinguir cuatro etapas estrechamente relacionadas - que son: Definición de objetivos, Formulación de medidas de efectividad, Generación de alternativas y Evaluación.

3.2.2.1.- Definición de Objetivos

De hecho los objetivos fueron obtenidos en el ciclo: "definición del sistema -definición del ámbito", ya descrito. Sin embargo, en esta etapa es necesario decidir un criterio de análisis que permita conciliar los objetivos en conflicto. En general se tienen dos maneras de proceder: la primera podera los objetivos en conflicto; la segunda impone restricciones -algunas veces objetivas, otras veces subjetivas- sobre ciertas variables y parámetros del modelo del sistema.

3.2.2.2.- Formulación de Medidas de Efectividad

El conocimiento de los objetivos permite definir medidas de efectividad. Se entiende por efectividad un buen uso de los recursos orientado hacia la consecución de una meta dada.

Una medida de efectividad, mide el comportamiento del sistema con respecto a la meta. Dichas medidas suministran un patrón que permite -

comparar diversas alternativas mediante los efectos que cada una de - ellas logra.

3.2.2.3.- Generación de Alternativas

Ahora bien, comparar alternativas implica, como primer paso, el encontrarlas. La búsqueda de alternativas puede llevarse a cabo, entre - otras, de dos maneras principales.

La primera es un intento deliberado de ejercitar la imaginación para - identificar todos los tipos relevantes de soluciones. Esto quizá no es sino una recomendación a ser creativo, para la cual no hay método.

La segunda manera de generar alternativas consiste de una definición - deliberada y exhaustiva de las posibilidades que un tipo de solución - ofrece. Esto puede llevarse a cabo mediante una computadora variando los parámetros del modelo del sistema de manera que se consideren todas las posibles combinaciones.

Como se sabe cualquier conjunto de reglas y relaciones que describen un objeto o concepto constituyen un modelo. Puede decirse que cuando un modelo es reducido a diagramas (conceptualización) y ecuaciones, cuando las hipótesis en las que se basa pueden reproducirse y analizarse, cuando puede ser comunicado a un auditorio y cuando pueden determinarse normas de variación con el tiempo y entender así su comporta-

miento dinámico, entonces racionalmente se puede pensar en que se conoce la realidad que se intenta representar.

A este respecto conviene, usando las palabras de Mesarovic y Pestel recordar que "el modelo representa a cierta realidad como un sistema, - esto es, como una colección de partes interactivas y mutuamente interdependientes. El modelo se basa en datos disponibles y en la comprensión del proceso de desarrollo en todas las disciplinas pertinentes, además de que refleja la naturaleza adaptiva y el carácter subjetivo intrínseco a cualquier sistema que involucra elementos humanos".

Los modelos pueden clasificarse de muy diversas maneras según se ilustra en la figura 3, sin embargo, el enfoque que debe dárseles en Ingeniería de Sistemas difiere ampliamente con relación al requerido en otras áreas de la ciencia. Por ejemplo, en la Física el modelo es casi un - fin en sí mismo, ya que el objetivo es que en él se consideren tantos hechos como sea posible. Por otra parte, en Ingeniería de Sistemas, - el objetivo final es optimizar el funcionamiento de un sistema y, por lo tanto, los modelos construídos deben permitir que el número de soluciones alternas para un problema dado se multipliquen para su posterior - evaluación y selección. Aquí se dá mayor importancia no a cada solución alterna, sino a los rangos de sensibilidad de la misma, esto es, a aquellos intervalos en que dicha solución no se altera a pesar de - que varíen los efectos o los costos, o la tecnología o las disponibilidades de recursos.

3.2.2.4.- Evaluación

La evaluación de las alternativas consiste en asociar cada una con sus efectos. Para ello se hace uso de los modelos ya desarrollados y conduce a un análisis de efectividad contra costo que genera una gran variedad de soluciones óptimas en cuanto a efectos se refiere, cada una de ellas asociadas con su costo, de manera que el que toma la decisión puede seleccionar cualquiera de las soluciones según su disponibilidad presupuestal y otro tipo de restricciones a que esté sujeto.

La selección se logra mediante un examen de los efectos de cada alternativa, una comparación de su valor relativo y una decisión sobre cual de los conjuntos es preferible. Mientras que la evaluación es un procedimiento mecánico, la selección es materia de juicio -es el arte de balancear todas las consecuencias- y obviamente, no está a cargo del ingeniero de sistemas el cual se limitará a suministrar la información relevante al respecto.

3.2.3.- Diseño de Sistemas[46]

3.2.3.1.- Antecedentes

Como ya se ha visto, el análisis de sistemas se refiere al proceso o acto de desarrollar y manipular un modelo de un sistema que ya existe. La meta del análisis de sistemas es crear un modelo mediante el cual-

el sistema existente considerado pueda ser estudiado y analizado en forma abstracta sin la necesidad de manipular al propio sistema. Este modelo puede tomar diversas formas: podría ser tan simple como una descripción verbal o escrita, o podría tomar la forma de un conjunto de ecuaciones, o aun ser tan complicado como un programa computarizado mediante el cual el sistema es simulado.

El diseño de sistemas, por otra parte, significa desarrollar un modelo mediante el cual será creado un sistema nuevo y, frecuentemente, se traduce en un conjunto de planos o especificaciones a partir de las cuales será posible construirlo o implantarlo.

Goode y Machol consideran que en el diseño de sistemas se tienen seis fases: 1) iniciación, 2) organización, 3) diseño preliminar, 4) diseño principal, 5) construcción del prototipo, y 6) prueba, entrenamiento y evaluación. La salida de la primera fase, y de cada una de las siguientes es un reporte. Un reporte de la primera fase debería contener lo siguiente: la formulación del problema, un conjunto de soluciones sugeridas (alternativas); una estimación del tipo y número del personal requerido para diseñar el sistema, así como del tiempo y del costo que ello implica. El punto fundamental en la discusión de Goode y Machol es el desarrollo de un modelo matemático que represente al sistema que se está diseñando.

Asimow enumera algunos principios básicos para el diseño de sistemas tales como: 1) satisfacción de necesidades, 2) factibilidades física, económica y financiera, 3) optimalidad, 4) formulación del criterio de diseño, 5) reconocimiento del diseño morfológico, 6) proceso de diseño, 7) definición de subproblemas, 8) reducción de la incertidumbre, 9) valor económico de la evidencia, 10) bases de decisión y otras. Asimow afirma que la optimalidad debe establecerse con relación al criterio de diseño que represente el compromiso de los diseñadores hacia los posibles conflictos entre los juicios de valor del consumidor, del productor y los suyos propios.

Hall hace ver que parte de la definición del problema se alcanza como sigue: 1) identificando las entradas y salidas en listas separadas, 2) describiendo exhaustivamente los conceptos que aparecen en cada lista y 3) tratando de establecer correspondencias entre entradas y salidas. También hace ver que es importante elegir objetivos para el sistema que se están diseñando con relación a: costo, calidad, rendimiento, compatibilidad, adaptabilidad, permanencia, seguridad, y otros.

Chestnut asegura que un sistema se enjuicia con base en aspectos tales como: rendimiento, costo, confiabilidad, tiempo para implantarlo, vida del sistema y manteneabilidad. Afirma también que la formulación del problema involucra responder las siguientes preguntas: ¿Que va a hacer el sistema? ¿En que ámbito va a operar? ¿A que ámbito está destina

do su producto? ¿Cual es la información disponible? ¿Cuales son las entradas? ¿Cuales son las características de las salidas?.

De la misma manera podrían mencionarse otros autores tales como: Gosling, de Neufville y Stafford, Nadler, Ackoff, etc. Casi todos ellos indican de alguna manera que el primer paso en el diseño de cualquier sistema es el formular el problema. Casi ninguno de ellos, con la posible excepción de Chestnut, se enfrentan realmente al problema de como debe establecerse formalmente un problema de diseño de sistemas independientemente de su grado de detalle.

La metodología que aquí se propone está basada en la teoría tricotiledonea desarrollada por Wymore.

3.2.3.2.- El proceso de diseño

En la figura 4 se consigna el proceso de diseño de un sistema. En la parte superior de dicha figura se tiene un rectángulo que representa al cliente y en su parte inferior otro que representa al ámbito, entendido que éste incluye al conocimiento científico y tecnológico disponible por el grupo interdisciplinario en el lapso durante el cual se lleva a cabo el diseño. Se tienen otros siete bloques llamados: Definición del problema, Diseño preliminar, Diseño final, Implantación, Pruebas de aceptación, Operación y Entrega.

Cabe mencionar que las cuatro últimas etapas propuestas por Wymore, esto es, las llamadas: Implantación, Pruebas de Aceptación, Operación y Entrega; serán asimiladas a las que en este escrito se han denominado como: Estudios durante el desarrollo e Ingeniería de Proyecto; ya que se consideran como comunes tanto al análisis como al diseño de sistemas. De esta manera se enfocará la atención sobre las etapas previas a las primeramente mencionadas.

3.2.3.3.- Definición del Problema

El producto final, la meta última, de la etapa llamada "Definición del problema", es el establecimiento del problema de diseño del sistema en términos de una especificación de entradas y salidas, de una tecnología, de tres ordenamientos de mérito y del plan de pruebas del sistema.

Dentro del rectángulo asociado a la "Definición del Problema", figura 4, se observa una primera columna constituida por seis bloques que representan a las preguntas típicas formuladas al cliente. Estas son: ¿Que es lo que se supone que básicamente va a hacer el sistema?, ¿Cómo se va a juzgar el rendimiento del sistema?, ¿Qué puede usarse para construir el sistema?, ¿Cómo se va a juzgar el uso de los recursos? ¿Cómo se van a resolver los conflictos entre los rendimientos y el uso de los recursos?, ¿Cómo se va a probar el sistema?. Cuando se res

ponde a estas preguntas en negociación con el cliente, entonces las respuestas para el grupo interdisciplinario está dada por la columna intermedia cuyos bloques se han llamado: Identificación de Necesidades, Definición de Criterios de Satisfacción de Necesidades, Establecimiento de Recursos Disponibles, Definición de Criterios para la Utilización de Recursos, Establecimiento del Criterio de Intercambios y Establecimiento de los Requerimientos del Plan de Pruebas. Esto constituye la formulación literal del problema de diseño del sistema comunicado al cliente y conduce, como ya se había dicho, respectivamente a: la especificación de entradas y salidas, el ordenamiento de mérito sobre el cotiledón de entradas y salidas, la definición de la tecnología, el ordenamiento de mérito sobre el cotiledón de tecnología, el ordenamiento de mérito sobre el cotiledón de factibilidad y finalmente al plan de pruebas del sistema.

3.2.3.4.- Diseño preliminar y final.

Obsérvese que el proceso de diseño de sistemas coincide operacionalmente con el de análisis y que se ha destacado por asociarse al desarrollo de un modelo mediante el cual será creado un sistema nuevo. Dicho modelo se construye con base en la información colectada en la etapa de definición del problema siguiendo las ideas ya comentadas.-

Sin embargo es conveniente resaltar las etapas relativas a estudios de simulación, de optimización, de control y de confiabilidad.

Simulación. En esta etapa, los modelos previamente desarrollados se utilizan para simular en la computadora el funcionamiento del sistema, sujetándolo, por una parte, a entradas que representan a las condiciones normales de operación del mismo y, por otra, a perturbaciones tales que ocasionen que el comportamiento del sistema fluctúe con respecto al que correspondería a su funcionamiento normal o establecido.

Optimización. Provistos de un modelo que permite pronosticar el funcionamiento de un sistema, ya es posible evaluar sus diferentes posibilidades de operación, ésto es, asociar cada una de ellas con sus efectos. La elección del modo más favorable de operar el sistema es lo que se entiende por optimización.

Aquí es conveniente enfatizar que la optimización independiente de cada subsistema generalmente no conduce al sistema óptimo sino que, por el contrario, con frecuencia empeora el funcionamiento del sistema total. A este hecho se le designa con el nombre de suboptimización y debe ser evitado por el ingeniero de sistemas.

Durante los últimos 15 años las necesidades del diseño de sistemas han estimulado el desarrollo de un buen número de técnicas matemáticas que se agrupan bajo el nombre de métodos de optimización. Aunque estas técnicas son muy importantes; para el ingeniero de sistemas la optimización es mucho más que un problema matemático. No es suficiente que el analista construya un modelo elegante y sin tacha desde un punto de vista puramente teórico, debe probarlo para distintas condiciones externas, encontrar relaciones funcionales entre variables de decisión, determinar rangos de factibilidad entre las variables implicadas por los objetivos, debe analizar la sensibilidad a cambios en los parámetros cercanos al funcionamiento óptimo, así como a cambios en las hipótesis de diseño y debe analizar la incertidumbre del comportamiento del ámbito en el que está ubicado el sistema.

Si el funcionamiento óptimo es poco sensible a los cambios antes mencionados, ésto significa que existe un buen número de diseños aceptables cada uno de los cuales tiene aproximadamente la misma efectividad y puede considerarse como un buen diseño.

Control. Una vez que el sistema ha sido optimizado debe desarrollarse un subsistema de control tal que garantice, con un cierto nivel de confianza, que las condiciones de diseño sean respetadas cuando el sistema opera en su ámbito real. Estos mecanismos de control deben

formar parte integral del diseño del sistema para evitar que las perturbaciones aleatorias de su funcionamiento ocasionen grandes desviaciones respecto a su efectividad estimada. El enfoque de sistemas dirige su atención a responder preguntas tales como ¿dónde ejercer el control?, ¿qué tan sofisticado debe ser?, ¿qué tipo de equipo se necesita?, ¿cuándo se justifica el uso de terminales remotas conectadas en línea con una computadora central?, y, además, estudia los beneficios económicos, tangibles e intangibles, que resultan de controlar el funcionamiento del sistema y exige que este costo quede justificado como parte del diseño del sistema total.

Confiabilidad. Finalmente, analizar la confiabilidad implica estudiar situaciones fuera de control, ésto es, analizar el efecto total de la incertidumbre en el diseño del sistema. Algunos aspectos aleatorios del ámbito del sistema que repercuten en riesgos e incertidumbre son, por ejemplo: fallas del equipo, escasez de recursos con respecto a los previstos, fallas en el mantenimiento, etc. . . Esto inevitablemente conduce a un incremento en los costos de operación y de capital por lo que los aspectos de confiabilidad deben considerarse como parte integral del diseño del sistema total ya que, de otra manera, se obtendrán en general efectos desastrosos en lo relativo a la efectividad de su funcionamiento.

3.2.4. Estudios durante el Desarrollo.

Una vez que el sistema ha sido diseñado se inicia la fase de Estudios durante el Desarrollo. En esta fase debe existir amplia comunicación entre los integrantes del equipo interdisciplinario de Ingeniería de Sistemas y los usuarios, ya que se elaboran manuales de operación relativos a los nuevos diseños y se perfecciona el plan de acción interpretándolo a la luz de los nuevos datos técnicos que se van obteniendo de la experimentación y del trabajo de campo. También en colaboración con los usuarios, deberá llevarse a cabo una evaluación retrospectiva del funcionamiento del sistema. Es posible que ésto repercuta en cambios en los objetivos o en los recursos previstos, originándose nuevas decisiones.

3.2.5. Ingeniería de Proyecto

Finalmente al llevar a cabo la Ingeniería del Proyecto deberán retroalimentarse resultados que puedan corregir posibles deficiencias en el programa y completen los archivos iniciados en la primera fase.

4. La Ingeniería de Sistemas y el Método Científico.

Cabe hacer resaltar que la metodología descrita hace uso extensivo del método científico en su más amplio sentido.

Las características relevantes del método científico aplicado al problema de elegir alternativas óptimas son: el método es abierto, explícito, verificable y autocorregible. Combina la lógica y la evidencia empírica. - El método y la tradición de la Ciencia requieren que los resultados obtenidos sean tales que cualquier otro especialista pueda reconstruir los - mismos pasos y llegar a los mismos resultados. Al aplicar estas ideas al análisis y diseño de sistemas es preciso que todos los cálculos, hipótesis, datos empíricos y juicios de valor deban ser descritos en forma tal que sean susceptibles de sujetarse a verificación, prueba, crítica, discusión y aún a rechazo. Desde luego, como todas las ciencias, tampoco la Ingeniería de Sistemas es infalible, pero no se está clamando por ello, lo que sería peor que no usarla. Sin embargo, dado su - carácter autocorregible, evita la persistencia indefinida de un posible - error.

5.- La Ingeniería de Sistemas, la Informática y la Computación

Conviene observar que uno de los complejos problemas al que se enfrenta la Ingeniería de Sistemas es el de colectar, organizar, reducir, evaluar y actualizar información. La información es de muchos tipos, incluye los requerimientos de la solución (objetivos), restricciones de toda - índole y datos físicos. La cantidad y la confiabilidad de la información varía pero es de tal naturaleza que los datos están fuertemente relacio-

nados y un cambio en una variable afecta a muchas otras. Por otra - parte, la operación de un sistema puede pensarse como una compleja - red de canales de información interconectados. De estos canales emergen en ciertos puntos controles para procesos físicos, inversión monetaria, reclutamiento de trabajadores, construcción de obras, adquisición de equipos, producción de bienes, etc. En cualquier punto del sistema en donde se ejecuta una acción existe un punto de decisión cuyas fuentes de información alcanzan otros puntos, tanto del sistema, como del ámbito que le sirve de marco de referencia.

Desde este punto de vista, la toma de decisiones es un proceso continuo. Es un mecanismo de conversión de flujos de información, que - varían constantemente, en señales de control. En el pasado, la complejidad de las decisiones y la gran cantidad de datos involucrados en un sistema, obligaban a descomponer el análisis en un conjunto de tareas desconectadas, en las que muchos de los aspectos de retroalimentación se omitían. No se tenían las herramientas necesarias para coordinar y realizar los cálculos considerando todas las interacciones existentes. Actualmente estos problemas pueden atacarse através de los - criterios, técnicas y métodos que proporciona la Ingeniería de Sistemas. Sin embargo hay que reconocer que no se habría logrado el amplio desarrollo que dicha rama presenta en la actualidad sin el poderoso concurso de la Informática.

En 1966, la Academia Francesa definió a la Informática como sigue: "La Ciencia que trata el procesamiento sistemático y racional, particularmente por medio de computadoras electrónicas, de la información considerada como la base del conocimiento humano para la comunicación - en los campos técnico, económico y social".

Hay que reconocer, sin embargo, que, como señala Bellman, no se habría logrado el amplio desarrollo que esta disciplina presenta en la actualidad, sin el poderoso auxilio que constituye la computadora. Esta herramienta proporciona facilidades de procesamiento para los problemas rutinarios, apoya en el desarrollo de sistemas de información y ayuda - al rápido procesamiento de los diversos modelos requeridos por los sistemas bajo estudio, tanto por lo que se refiere a la simulación de su - funcionamiento, como en lo relativo a la asignación de recursos y a la toma de decisiones.

Sin embargo, existe una marcada tendencia general a considerar que la computadora es una herramienta milagrosa. Al respecto permítanme transcribir las siguientes frases de Peccei y King:

"Para algunas personas este enfoque es una amenaza tecnocrática: la computadora asumiendo la responsabilidad del destino de la humanidad. Esto es una tontería... Su metodología es muy prometedora y flexible, puesto que permite un diálogo continuo entre el hombre, que retiene sus

sistemas de valores, juicio y objetivos, y la computadora que pone a - su disposición una enorme capacidad de cálculo. La iniciativa humana o la reacción humana hacia la tensión y el reto, no solo se mantienen en una posición dominante, sino que se fortalecen a través de una he - rramienta adecuada que nos permite estudiar escenarios alternos, probar varias opciones a través de la evaluación de sus probables consecuen - cias y, finalmente, mejorar y racionalizar las decisiones de política".

Por último cabe mencionar que la dinámica de los acontecimientos ac - tuales implica la participación de millones de seres en el progreso in - cesante acortando la distancia entre lo presente y lo futuro, entre la - posibilidad potencial y su integración a la realidad.

Pero si no utilizamos con eficacia todos los recursos disponibles nues- tras ideas no trascenderán en una formulación conceptual a un logro - real. La creatividad es fundamental, pero las teorías deben encauzar- nos a la obtención de diseños acordes con nuestra realidad, so pena de caer en utopías. Estamos seguros que disciplinas como la Ingenie- ría de Sistemas, constituyen una aportación que incrementará los cono- cimientos de orden práctico destinados a predecir cambios, y a buscar aplicaciones adecuadas a la problemática impuesta por la dinámica co- lectiva que caracteriza a nuestra época.

CAJA NEGRA

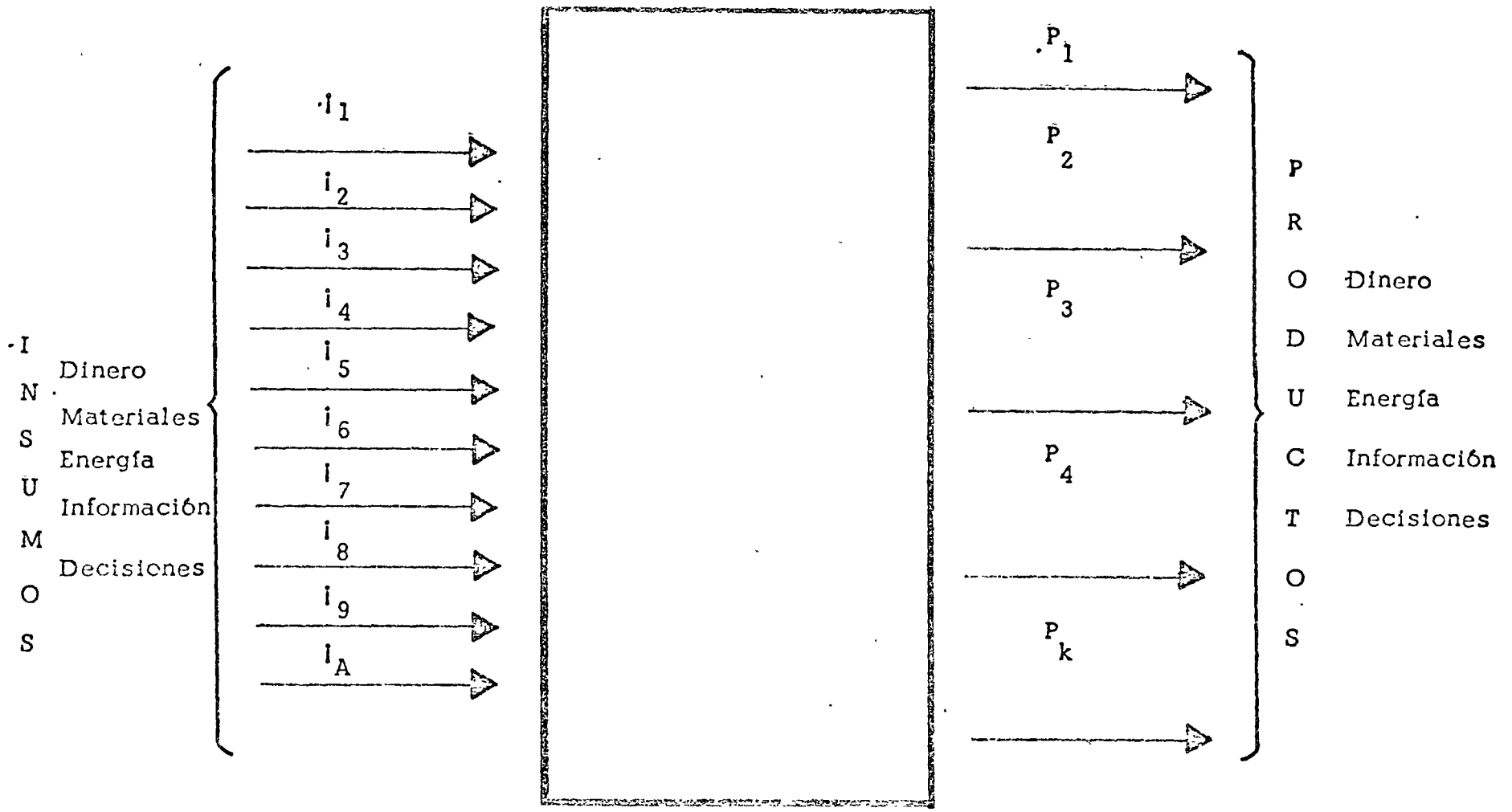
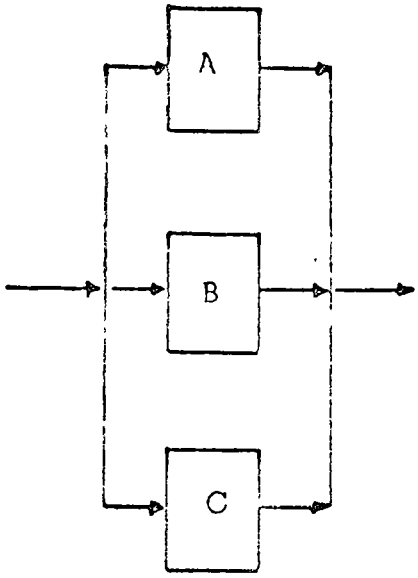
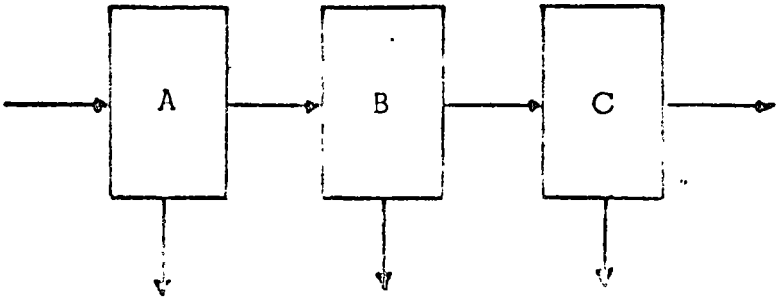


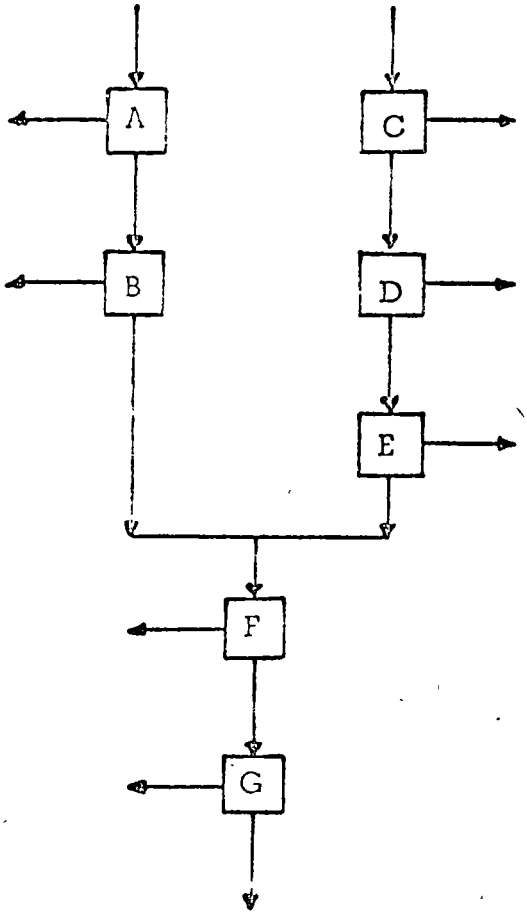
Figura 1



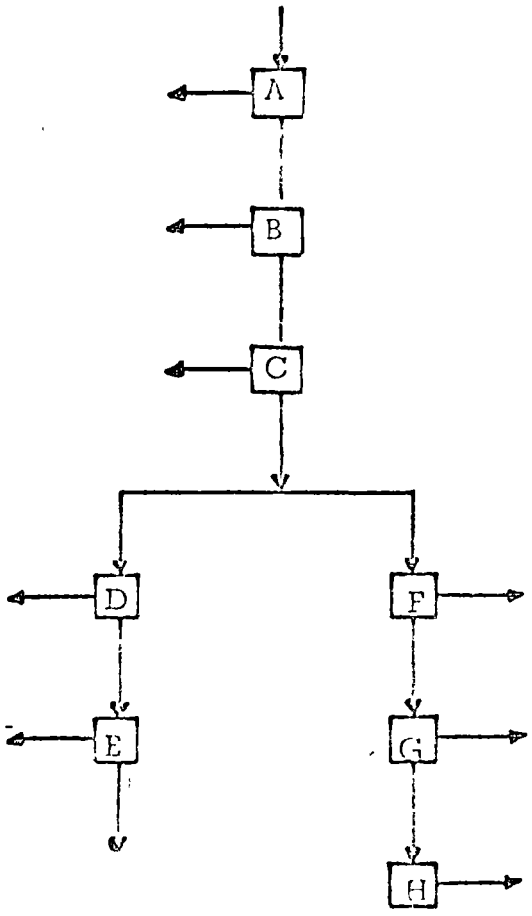
EN PARALELO



EN SERIE



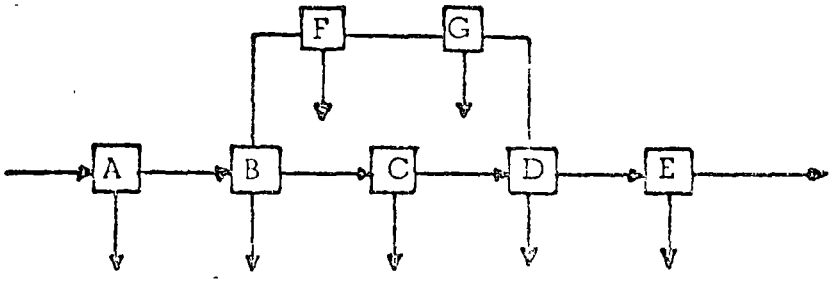
CON RAMAS CONVERGENTES



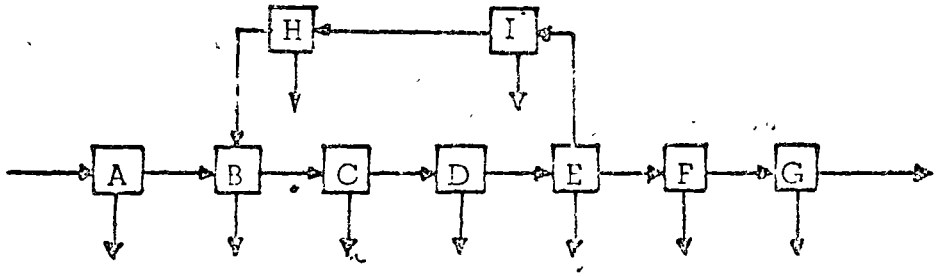
CON RAMAS DIVERGENTES

FIGURA 2

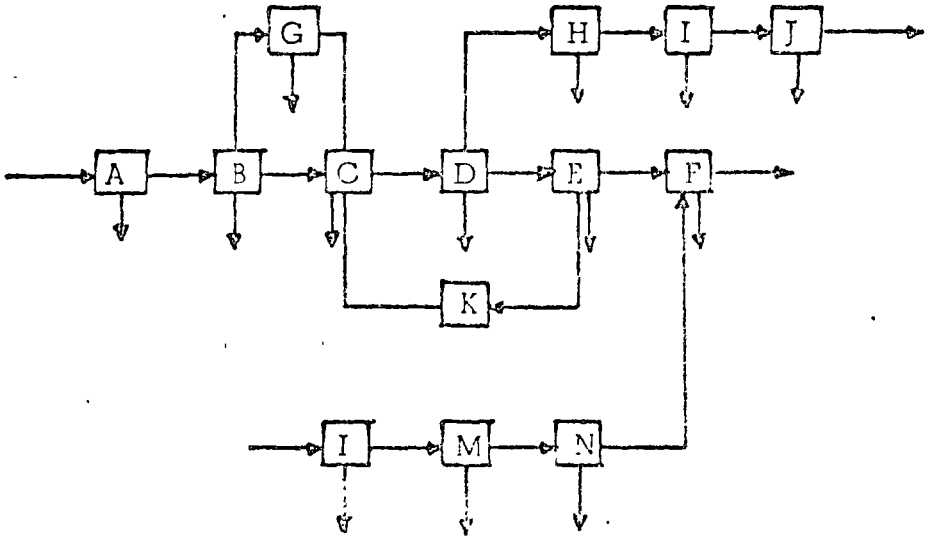
E S T R U C T U R A



CON ALIMENTACION HACIA ADELANTE



CON ALIMENTACION HACIA ATRAS



SISTEMA GENERAL

Figura 2 (concluye)

CLASIFICACION DE MODELOS (Forrester)

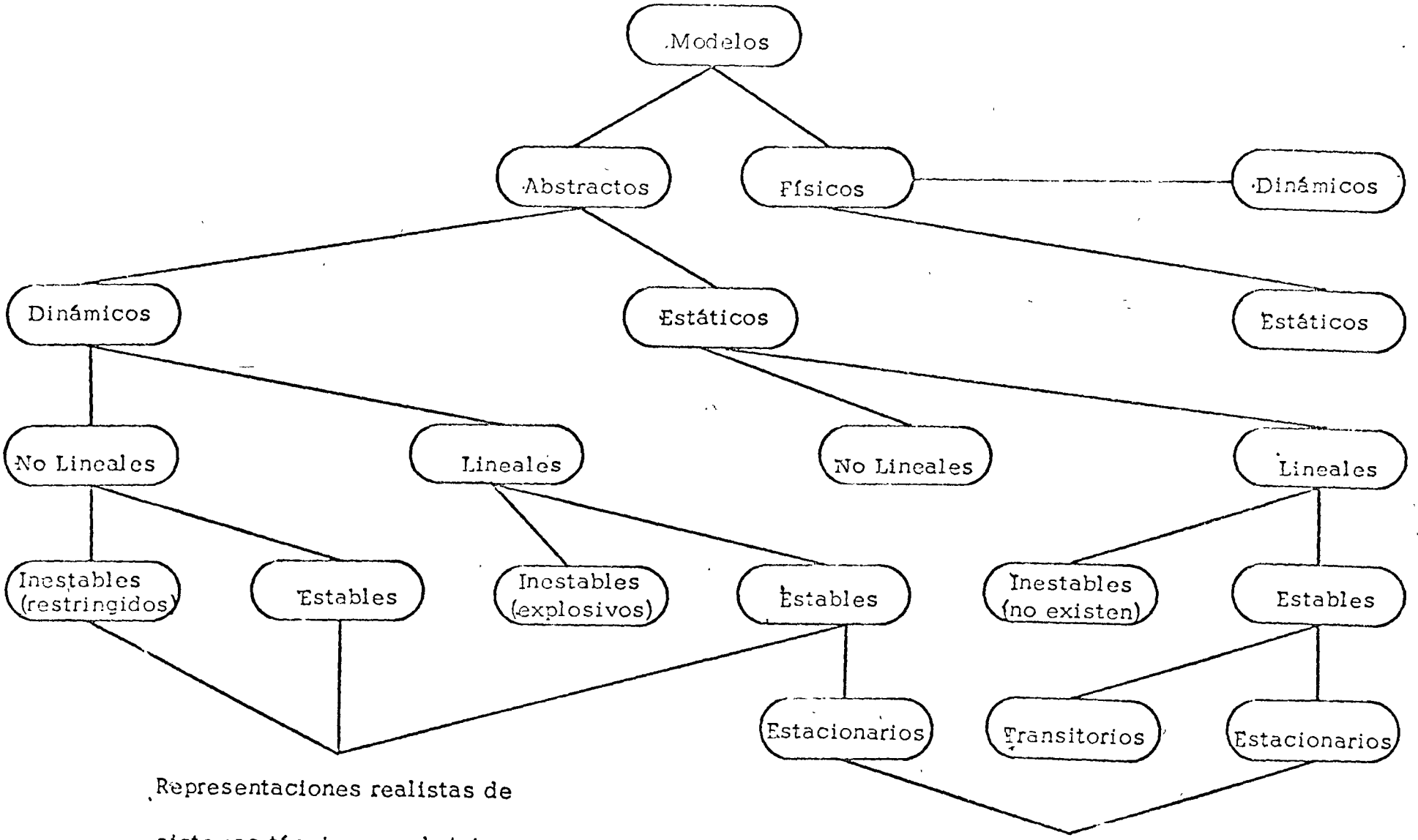


Figura 3

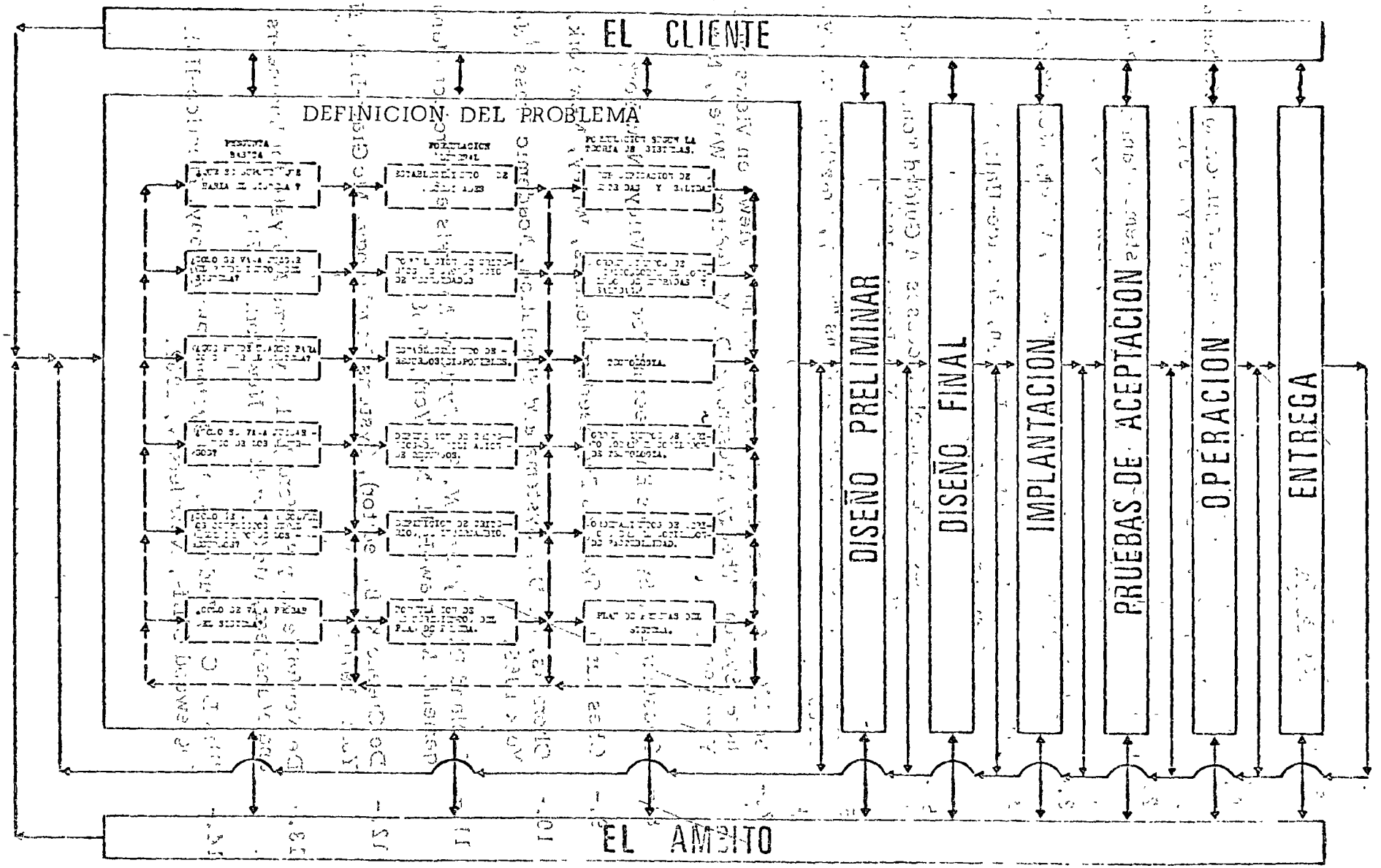

EL CLIENTE
DEFINICION DEL PROBLEMA
DISEÑO PRELIMINAR
DISEÑO FINAL
IMPLANTACION
PRUEBAS DE ACEPTACION
OPERACION
ENTREGA
EL AMBITO

Figura 4

6.- Bibliografía

1.- Alexander J. E. y Bailey J. M., Systems Engineering Mathematics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1963.

2.- Antoine J. y Lesovine J., Government Systems Planning, Progress in Operations Research Vol. II, Wiley, New York, 1964.

3.- Ashby W.R., Introduction to Cybernetics, Wiley, New York, 1961.

4.- Asimow M., Introduction to Design, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1962.

5.- Bellman R., Adaptive Control Processes: A Guided Tour, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1961.

6.- Bertalanffy L. von, General Systems Theory, Braziller, New York, 1969.

7.- Boulding K. General Systems as a Point of View, en Views on General Systems Theory, Mesarovic D. M. (editor), Wiley, New York 1964.

8.- Chestnut H., Systems Engineering Tools, Wiley, New York, 1965.

9.- Chestnut H., Systems Engineering Methods, Wiley, New York, 1968.

10.- Chorafas, N. D., Systems and Simulation, Academic Press, New York 1965.

11.- Cleland D. I. y King W. R., Systems Analysis and Project Management, McGraw-Hill, New York, 1968.

12.- De Greene K. B. (editor), Systems Psychology, McGraw-Hill, New York, 1970.

13.- De Neufville R. y Stafford J. H. Systems Analysis for Engineers and Managers, McGraw-Hill, New York, 1971.

14.- Ellis D. O. y Ludwig F. J., Systems Philosophy, Prentice-Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 1962.

15.- Goode H. H. y Machol R. E., Systems Engineering, Mc Graw-Hill, New York, 1957.

16.- Gosling W., The Design of Engineering Systems, Ley, New York, 1957.

17.- Hall A. D., A Methodology for Systems Engineering, Van Nostrand, Princeton, New Jersey, 1962.

18.- Hall D. A. y Fagen R. E., Definition of System, en Modern Systems Research for the Behavorial Scientist, Buckley W. (editor), Aldine, Chicago, 1968.

19.- Hunt B. R., The ABM Debate: Some Implications for Systems Engineers and Analysts, Journal of Systems Engineering, Vol. 1, No. 3 1969.

20.- Jauffred F. J., El Análisis de Sistemas como una Etapa de la Ingeniería de Sistemas, Ponencia inédita presentada al VIII Congreso de Ingeniería Civil, México, D. F., 1970

21.- Jenkins M. G., The Systems Approach, Journal of Systems Engineering, Vol. 1, No. 1, 1969.

22.- Klir J. G. (editor), Trends in General Systems Theory, Wiley, New York, 1971.

23.- La Patta J. W., Applying Systems Theory in the Social Sciences", Engineering Education, Vol. 60, No. 8, 1970.

24.- Lasdon L. S., Optimization Theory for Large Systems, Macmillan, New York, 1970.

25.- Matthews D. Q., The Design of the Management Information System, Auerbach, Princeton, 1971.

26.- Mc Kean R. M., Efficiency in Government through Systems Analysis Wiley, New York, 1958.

27.- Mesarovic M. D. (editor), Systems Theory and Biology, Proceedings of the III Systems Simposium at Case Institute of Technology, Springer-Verlag, New York, 1968.

28.- Mesarovic M. y Pestel E., Mankind at the Turning Point, Comentarios de Peccei A. y King A. The Second Report to the Club of Rome, 1974.

29.- Miles R. F. (editor), Systems Concepts, Wiley, New York, 1973.

30.- Moreno Bonett A. y Jauffred F. J., La Ingeniería de Sistemas, Revista del CICM, No. 156, México D.F., 1970.

31.- Moreno Bonett A., Sistemas de Información en la Administración Pública, La Administración Pública Federal, Vol. II, UNAM Serie Estudios, México D. F., 1973.

32.- Nadler G., Work Systems Design: The IDEAL Concept, Richard D. Irwin, Honewood, Illinois, 1967.

33.- Penacchi R., Principles of Abstract Theory of Systems, International Journal of Systems Science, Vol. 3, No. 1, 1972.

34.- Prévost P., "Soft" Systems Methodology; Functionalism and the Social Sciences, Journal of Applied Systems Analysis, Vol. 5 - No. 1, Lancaster, Inglaterra, 1976.

35.- Rapoport A., Mathematical Aspects of General Systems Analysis, General Systems Yearbook, Vol. XI, No. 3, 1966.

36.- Raul J. G., Optimization and Probability in Systems Engineering, Van Nostrand-Reinhold, New York, 1970.

37.- Seiler K. III, Introduction to Systems Cost-Effectiveness, Publications in Operations Research, Wiley-Inter science, New York, 1969.

38.- Sharp J. A., The Role of Forecasts in Systems Dynamics Models, Dinamica, Vol. 2, No. 2, 1976.

39.- Sheridan T. B. y Ferrel W. R., Models of Man-Machine Systems, Information, Control and Decision, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1974.

40.- Singh R., Systems Approaches to the Study of Industrial Relations, Journal of Applied Systems Analysis, Vol. 5, No. 1, Lancaster Inglaterra, 1976.

41.- Van Court H. Jr., Systems Analysis: a Diagnostic Approach, Harcourt, Brace World, 1967.

42.- Vidale R. F., Systems Engineering as an Academic Discipline, Engineering Education, Vol. 60, No. 8, 1970.

43.- Wilson I. G. y Wilson M. E., Information, Computers and Systems Design, Wiley, New York, 1965.

44.- Weinberg M. G., An Introduction to General Systems Thinking, Wiley, New York, 1975.

45.- Wymore A. W., A Mathematical theory of Systems' Engineering: The Elements, Wiley, New York, 1967.

46.- Wymore A. W., Systems Engineering for Interdisciplinary Teams. - Wiley, New York, 1975.

47.- Zadeh L. A. y Polak E. (editores), System Theory, Mc Graw-Hill, New York, 1969.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

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

Ing. Alberto Moreno Bonett

Julio-Septiembre, 1977

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

P o r

ALBERTO MORENO BONETT *

SEÑORAS Y SEÑORES:

Weston A. Hall ha definido a la Ingeniería de Sistemas como sigue. "Arte y Ciencia de elegir, de entre un gran número de posibilidades, aquellas que puedan cumplir mejor los objetivos generales de un sistema, siempre dentro de los límites del derecho, la moral, los recursos económicos, la política y las leyes físicas y naturales".

Como se puede apreciar el problema central de la Ingeniería de Sistemas es la selección de alternativas. Esta selección se encuentra orientada hacia la obtención de las que mejor cumplen con los objetivos prefijados, las óptimas. Sin embargo, no serán unas óptimas ideales, inalcanzables, sino restringidas por el derecho, la moral, los recursos disponibles, etc. Ahora bien, todo problema de selección implica, como es evidente, toma de decisiones tanto cuando todos los datos son conocidos por el selector (certeza), como cuando intervienen aspectos aleatorios que repercutan en riesgos e incertidumbre.

* Palabras pronunciadas en la Ceremonia de Inauguración del Curso de "Fundamentos y Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas".

La Ingeniería de Sistemas mediante las disciplinas que la componen, - suministra criterios, técnicas y métodos que permiten elegir en ambos casos la alternativa más adecuada de acuerdo con los objetivos señalados. Tal vez las mayores ventajas las obtienen en los casos en - los que intervienen elementos aleatorios que, además, son los más - frecuentes en la realidad.

Conviene insistir en ésto último; frecuentemente se piensa que el análisis cuantitativo no puede aplicarse cuando existe incertidumbre; por supuesto si ésto fuera cierto, no tendríamos ciencias tales como la física contemporánea. ¡ Es claro que este punto de vista es incorrecto ! . De hecho más que encubrir la incertidumbre un buen análisis hará uso de ella, y con este fin fueron concebidas muchas de las herramientas de la Ingeniería de Sistemas que serán presentadas en este curso por muy distinguidos profesores.

En lo anterior se ha utilizado varias veces la palabra sistema, no cabe duda que sus acepciones son múltiples, algunos la usan como sinónimo de procedimiento, otros como sinónimo de rutina, sin embargo - aquí - y es el sentido que en esta rama de la Ingeniería debe dárse - le - se emplea para representar a un todo integrado y armónico en - donde cada una de las partes ha sido diseñada con objeto de lograr un fin común óptimo. Entiéndase que este fin común óptimo puede no corresponder a los óptimos parciales, siendo ésta la idea primordial de - la Ingeniería de Sistemas, para la cual, lo característico es el enfoque

integral de los problemas a partir del cual ya se pueden definir óptimos parciales coherentes. La ventaja es inmediata: no se distraerán recursos en proyectos que en sí son atractivos pero que no encajan dentro de un plan general ya sea por su oportunidad o por su situación.

Uno de los aspectos principales en el análisis de un sistema está dado por el modelo o modelos que lo representan. El objetivo del modelo es reflejar analíticamente el comportamiento del sistema y de las interacciones entre éste y su ámbito.

Los modelos pueden clasificarse de muy diversas maneras, sin embargo el enfoque que debe dárseles en Ingeniería de Sistemas difiere ampliamente con relación al requerido en otras áreas de la ciencia. Por ejemplo en la Física el modelo es casi un fin en si mismo, ya que el objetivo es que en él se consideren tantos hechos como sea posible. Por otra parte en Ingeniería de Sistemas el objetivo final es determinar el funcionamiento más adecuado de un sistema y, por lo tanto, los modelos construidos deben ser sirvientes de dicho objetivo.

A este respecto conviene, usando las palabras de Mesarovic y Pestel, recordar que "el modelo representa a cierta realidad como un sistema, ésto es, como una colección de partes interactivas y mutuamente interdependientes . El modelo se basa en datos disponibles y en la comprensión del proceso de desarrollo en todas las disciplinas pertinentes, ade

más de que refleja la naturaleza adaptiva y el carácter subjetivo intrín seco de cualquier sistema que involucra elementos humanos".

Este párrafo refleja algunas de las características principales de la Ingeniería de Sistemas a saber:

Busca eliminar los enfoques particulares de los problemas, sustituyéndo los por amplias y profundas visiones generales.

Dispone de una metodología para la realización de investigaciones basadas en la integración de grupos interdisciplinarios, en la existencia de objetivos múltiples y en la interpretación racional de aquellos que estén en conflicto.

Hace uso extensivo del método científico. Este método es abierto, explícito, verificable y autocorregible. Permite que los cálculos, hipótesis, datos empíricos y juicios de valor se describan en forma tal que sean susceptibles de sujetarse a verificación, prueba, crítica, discusión y aún a rechazo.

Los modelos que utiliza toman en cuenta que un sistema es un agrupamiento sumamente complejo que involucra elementos humanos, y cuyo comportamiento es aleatorio y dinámico.

La simiente de la Ingeniería de Sistemas ha proliferado con gran rapidez bastará mencionar, solo con ánimo de ejemplificar, los modelos de desarrollo agropecuario que en Argentina formuló Chamero, el modelo socio-económico nacional de Low, Mass y Senge en EE. UU., el desarrollo de planes nacionales de informática en Paraguay y Costa Rica que coordinan respectivamente Meyer y Rey, los estudios de migración interna y de planeamiento urbano realizados por Toriello en Guatemala y por Montagu en Argentina, el análisis del sistema educativo y su ambiente hecho por Silvio en Venezuela, el Sistema de Información Jurídica desarrollado por Gennari en Brasil, y así podrían mencionarse numerosas aplicaciones realizadas tanto en México como en otros países y que cubren un amplio espectro de la actividad humana y que serán ejemplificados en este curso por muy distinguidos conferenciantes a quienes anticipamos nuestro agradecimiento.

Sin embargo conviene observar que uno de los complejos problemas al que se enfrenta la Ingeniería de Sistemas es el de colectar, organizar, reducir, evaluar y actualizar información. La información es de muchos tipos, incluye los requerimientos de la solución (objetivos), restricciones de toda índole y datos físicos. La cantidad y la confiabilidad de la información varía pero es de tal naturaleza que los datos están fuertemente relacionados y un cambio en una variable afecta a muchas otras. Por otra parte, la operación de un sistema puede pensarse como una

compleja red de canales de información interconectados. De estos canales emergen en ciertos puntos controles para procesos físicos, inversión monetaria, reclutamiento de trabajadores, construcción de obras, adquisición de equipos, producción de bienes, etc. En cualquier punto del sistema en donde se ejecuta una acción existe un punto de decisión cuyas fuentes de información alcanzan otros puntos, tanto del sistema, como del ámbito que le sirve de marco de referencia.

Desde este punto de vista, la toma de decisiones es un proceso continuo. Es un mecanismo de conversión de flujos de información, que varían constantemente, en señales de control. En el pasado, la complejidad de las decisiones y la gran cantidad de datos involucrados en un sistema, obligaban a descomponer el análisis en un conjunto de tareas desconectadas, en las que muchos de los aspectos de retroalimentación se omitían. No se tenían las herramientas necesarias para coordinar y realizar los cálculos considerando todas las interacciones existentes. Actualmente estos problemas pueden atacarse através de los criterios, técnicas y métodos que proporciona la Ingeniería de Sistemas. Sin embargo hay que reconocer que no se habría logrado el amplio desarrollo que dicha rama presenta en la actualidad sin el poderoso concurso de la Informática.

En 1966, la Academia Francesa definió a la Informática como sigue:

"La Ciencia que trata el procesamiento sistemático y racional, particularmente por medio de computadoras electrónicas, de la información considerada como la base del conocimiento humano para la comunicación - en los campos técnico, económico y social".

Esta definición hace ver el poderoso concurso de la computadora. Esta herramienta proporciona: facilidades de procesamiento para los problemas rutinarios, apoya en el desarrollo de sistemas de información y ayuda - al rápido procesamiento de los diversos modelos requeridos por los sistemas bajo estudio, tanto por lo que se refiere a la simulación de su - funcionamiento, como en lo relativo a la asignación de recursos y a la toma de decisiones como será discutido a lo largo de este curso.

Sin embargo, existe una marcada tendencia general a considerar que la computadora es una herramienta milagrosa. Al respecto permítanme transcribir las siguientes frases de Peccei y King:

"Para algunas personas este enfoque es una amenaza tecnocrática: la computadora asumiendo la responsabilidad del destino de la humanidad. Esto es una tontería... Su metodología es muy prometedora y flexible, puesto que permite un diálogo continuo entre el hombre, que retiene sus sistemas de valores, juicio y objetivos, y la computadora que pone a - su disposición una enorme capacidad de cálculo. La iniciativa humana o la reacción humana hacia la tensión y el reto, no solo se mantienen

en una posición dominante, sino que se fortalecen a través de una herramienta adecuada que nos permite estudiar escenarios alternos, probar varias opciones a través de la evaluación de sus probables consecuencias y, finalmente, mejorar y racionalizar las decisiones de política".

Señoras y Señores: La rápida transformación que identifica a nuestra época se manifiesta en todos los ámbitos y en todas las ramas del conocimiento humano. La dinámica de los acontecimientos implica la participación de millones de seres en el progreso incesante acortando la distancia entre lo presente y lo futuro, entre la posibilidad potencial y su integración a la realidad.

Pero si no utilizamos con eficacia todos los recursos disponibles nuestras ideas no trascenderán de una formulación conceptual a un logro real. La creatividad es fundamental, pero las teorías deben encauzarnos a la obtención de diseños acordes con nuestra realidad, so pena de caer en utopías. Estamos seguros que disciplinas como la Ingeniería de Sistemas, objeto de este curso, constituyen una aportación que incrementará los conocimientos de orden práctico destinados a predecir cambios, y a buscar aplicaciones adecuadas a la problemática impuesta por la dinámica colectiva que caracteriza a nuestra época.

MUCHAS GRACIAS.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ESPECIFICACIONES DE ENTRADA-SALIDA, IMPLANTACION, TECNOLOGIA Y FACTIBILIDAD.

Dr. Jesús Acosta Flores

Junio -Septiembre 1977

Ingeniería de sistemas es la disciplina académica profesional e intelectual cuyo principal interés es el análisis y diseño de sistemas a gran escala que involucran hombres y máquinas.

El análisis se refiere al proceso de desarrollar y manipular un modelo de un sistema que ya está en existencia. El diseño por otra parte, significa desarrollar un modelo del cuál se creará un nuevo sistema.

El núcleo de la organización que actualmente logrará el análisis o el diseño de los sistemas debe ser un equipo intérdisciplinario. Este consiste en varios individuos entrenados en aspectos diferentes de un problema.

El equipo interdisciplinario necesita una metodología estandar y uniforme para enfocar los problemas del análisis y diseño de los sistemas. El equipo necesita una forma de organizarse para trabajar cooperativamente. Si una persona está analizando un problema, quizá no necesite una metodología formal. Por otra parte, para que un equipo de varios miembros sea capaz de trabajar en una forma ordenada es necesaria tal metodología. Debe comprenderse perfectamente lo que cada uno está haciendo y por qué.

Además siempre que se tiene un equipo interdisciplinario la primer dificultad es el problema del lenguaje. Cada disciplina tiene su propio vocabulario y los miembros de equipos interdisciplinarios desperdician mucho tiempo interpretando el vocabulario de los otros. La metodología que el equipo interdisciplinario adopte deberá resolver este problema sin cambiar los términos de cada disciplina individual porque eso es imposible y quizá indeseable, pero sí introduciendo un lenguaje común para comunicar las ideas sobre los sistemas. Uno de los objetivos de esta plática es proporcionar una metodología práctica que sea útil para los equipos interdisciplinarios.

'ORMATO PARA DEFINIR UN SISTEMA.

1.- Darle un nombre al sistema.

2.- Definir la escala de tiempo del sistema (discreta o contínua).

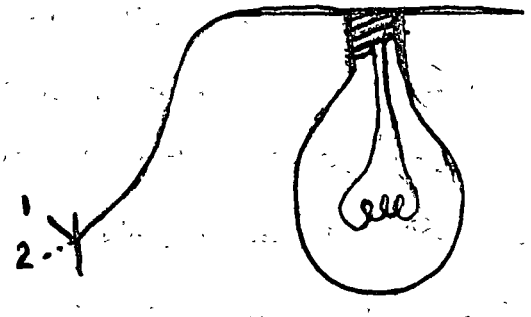
3.- Definir, describir o enumerar todos los estados posibles del sistema.

4.- Definir, describir o enumerar todas las entradas posibles del sistema, definir los puertos de entrada y dar las características de las trayectorias de entrada si es necesario.

5.- Definir las funciones de transición de estados; esto es, mostrar cómo el estado del sistema en cualquier tiempo futuro está determinado por el estado actual del sistema y las entradas de él.

6.- Definir las salidas.

Ejemplo: Considere la caricatura de un foco que mediante un interruptor que tiene las posiciones 1 ó 2 se enciende o se apaga.



Su definición es la siguiente:

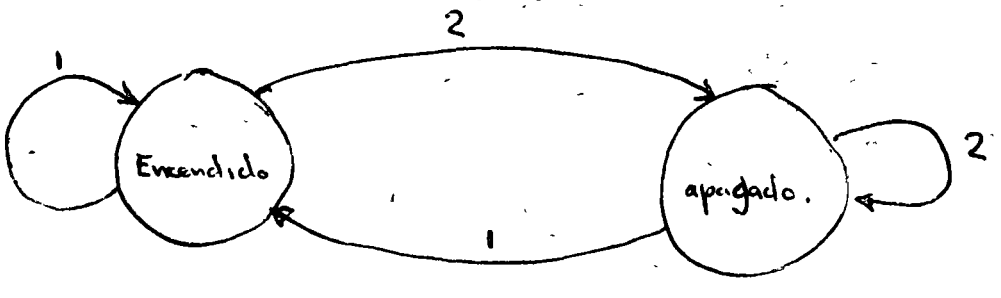
1.- El nombre del sistema es Z_2

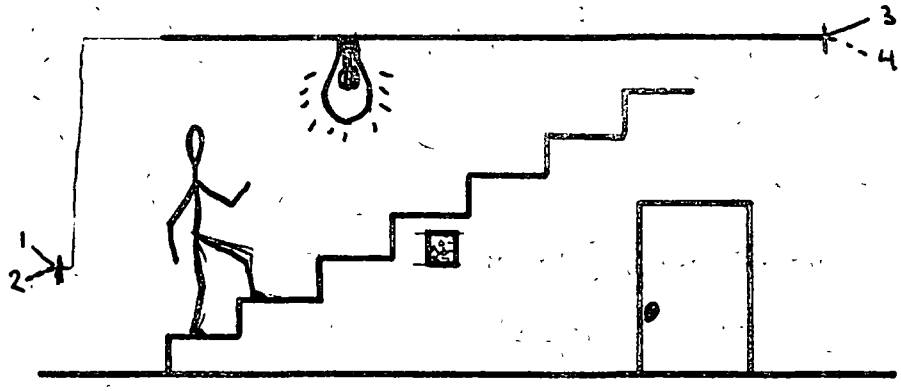
2.- La escala de tiempo del sistema Z_2 es discreta.

3.- Los estados del sistema son encendido, apagado.

4.- Las entradas del sistema son 1,2

5.- La función de transición de estados se define con el diagrama siguiente:





Ahora considere que el foco puede encenderse o apagarse en la planta baja o en el primer piso. El interruptor de la planta baja puede tener la posición 1 ó 2 y el del primer piso 3 o 4

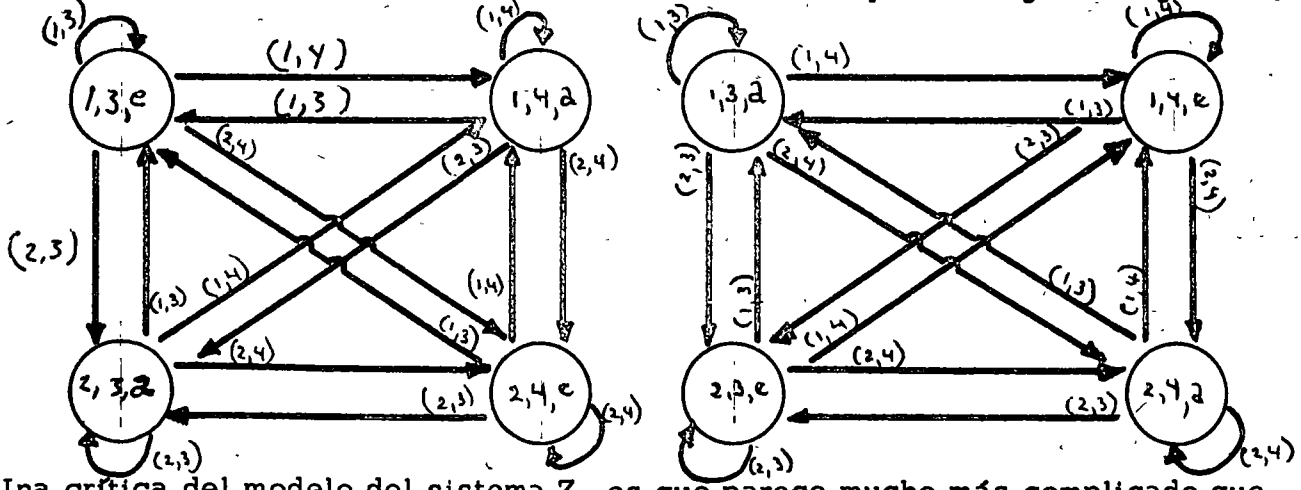
1.- El nombre de este sistema es Z_3

2.- La escala de tiempo del sistema es discreta

3.- Los estados del sistema son (1,3, encendido), (1,3, apagado), (1,4, encendido) (1,4, apagado), (2,3, encendido), (2,3, apagado), (2,4, encendido), (2,4, apagado).

4.- Las entradas del sistema se generan en dos puertos de entrada $P_{3,1}$ y $P_{3,2}$; Las entradas para el primer puerto son 1,2 y para el segundo son 3,4; por consiguiente las entradas del sistema son (1,4), (2,3), (1,3), (2,4),

5.- Las funciones de transición de estados se definen por el diagrama siguiente.



Una crítica del modelo del sistema Z_3 es que parece mucho más complicado que lo que un foco con 2 interruptores parecería justificar.

Podemos comenzar de nuevo y definir un modelo del sistema que será más simple pero tan adecuado como lo es el sistema Z_3. Se presenta a continuación

1.- Nombre del sistema, Z_4

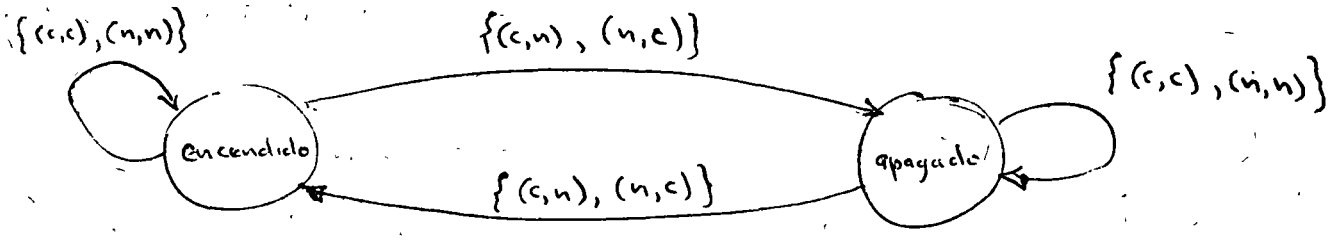
2.- La escala de tiempo del sistema es discreta

3.- Los estados del sistema son encendido y apagado

4.- Las entradas del sistema se generan en 2 puertos de entrada $P_{4,1}$ y $P_{4,2}$

Las entradas para el primer puerto son: cambia, no cambia y las mismas para el segundo puerto. Por consiguiente las entradas al sistema son (cambia, cambia), (cambia, no cambia), (no cambia, cambia), (no cambia, no cambia).

5.- La función de transición de estados del sistema está definido por el diagrama siguiente:



Esto proporciona un modelo mucho más simple pero quizá no es tan adecuado para ciertos propósitos. Si este modelo es adecuado o no, depende del uso que se le dará al modelo.

FORMATO PARA DEFINIR UN PROBLEMA DE DISEÑO DE SISTEMAS.

1.- Darle un nombre al problema

2.- Definir una especificación de entrada-salida

3.- Definir una tecnología.

4.- Definir un ordenamiento de méritos en el cotiledón de factibilidad

5.- Definir un plan para probar el sistema

FORMATO PARA DEFINIR UNA ESPECIFICACION DE ENTRADA-SALIDA

1.- Dárle un nombre a la especificación de entrada-salida

2.- Definir, describir o enumerar todas las entradas posibles

3.- Definir, describir o enumerar todas las trayectorias de entrada posibles

4.- Definir, describir o enumerar todas las salidas posibles

5.- Definir, describir o enumerar todas las trayectorias de salida posibles

6.- Definir una correspondencia entre cada trayectoria de entrada individual y conjuntos de trayectorias de salida.

Ejemplo:

Se considera un limpiador de parabrisas mostrándose su especificación de entradas-salidas.

1.- Sea X_3 el nombre de la especificación

2.- Las entradas de la especificación son apagado y encendido

3.- Las trayectorias de entrada son 2:

La función constante en el tiempo igual a encendido y la función constante en el tiempo igual a apagado

4.- Las salidas son todas las posiciones posibles del limpiador en el parabrisas, medidas por el ángulo central (números de cero a 180°)

5.- El conjunto de trayectorias de salida comprende todas las funciones del tiempo con valores en el conjunto de salidas.

6.- La correspondencia de trayectorias de entrada individuales con conjuntos de trayectorias de salida se define como sigue:

A la función que está constantemente apagada le corresponde el conjunto de todas las trayectorias de salida donde el limpiador permanece en una posición estática en el parabrisas.

En correspondencia con la función que está constantemente encendida se tiene el conjunto de todas las trayectorias de salida donde la posición del limpiador es perío dica.

2o. Ejemplo:

Se presenta un juego en el que un jugador anota en el papel 0 ó 1. Simultánea e independientemente el otro escribe a ó b.

En este juego el segundo jugador debe deducir la secuencia precisa que el jugador 1 está escribiendo en tan pocas jugadas como sea posible, de tal manera que la secuencia de a y b debe corresponder con la secuencia de 0 y 1.

1.- X_2 es el nombre de la especificación de entrada-salida

2.- Las entradas son 0, 1

3.- Las trayectorias de entrada son F_1 F_2 F_3 y F_4

Tiempo	F_1	F_2	F_3	F_4
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	1	1	1	1
3	0	0	0	0
4	1	0	1	1
5	1	0	0	1
6	0	1	1	1
7	1	1	0	0
	1	1	0	0

4.- Las salidas son a, b,

5.- Las trayectorias de salidas son G_{11}, G_{12}, G_{13}, G_{14}, G_{21}, G_{22}, G_{23}, G_{24}, G_{25}, G_{31}, G_{32}, G_{33}, G_{34}, G_{41}, G_{42}, G_{43},

6.- La correspondencia es F_1 con G_{11}, G_{12}, G_{13} y G_{14}

F_2 con G_{21}, G_{22}, G_{23}, G_{24} y G_{25}

F_3 con G_{31}, G_{32}, G_{33} y G_{34}

F_4 con G_{41}, G_{42} y G_{43}

Tiempo	G_{11}	G_{12}	G_{13}	G_{14}	G_{21}	G_{22}	G_{23}	G_{24}	G_{25}	G_{31}	G_{32}	G_{33}	G_{34}	G_{41}	G_{42}	G_{43}
0	b	b	a	a	a	b	b	a	b	b	b	a	a	b	a	b
1	a	a	b	a	b	a	b	b	b	a	b	b	b	a	b	a
2	a	b	a	a	a	a	b	a	b	a	b	b	a	b	a	a
3	a	a	b	a	b	a	b	a	a	a	a	a	b	b	b	b
4	b	a	a	b	a	b	a	a	a	b	a	a	a	b	a	b
5	b	a	b	b	a	a	a	a	a	b	a	b	b	a	b	b
6	b	a	a	a	a	b	a	b	b	a	b	b	b	b	a	b
7	b	b	a	a	b	b	b	b	a	a	b	a	a	a	b	a
	b	b	a	a	b	b	b	b	a	a	b	a	a	a	b	a

ORDENAMIENTO DE MERITOS

Se supone en este punto que se ha definido el problema, es decir, se conoce la especificación de entrada-salida, la tecnología, su intersección que nos dá el conjunto de sistemas que satisface nuestro problema y técnicamente es factible implementarlos.

En este punto es necesario seleccionar un sistema.

Si solo se tiene una medida de efectividad la selección es obvia, pero normalmente un sistema tiene varios atributos de interés.

Es conveniente recordar que uno no puede maximizar simultáneamente N cosas, todas a la vez. Así como no puede maximizar beneficios y al mismo tiempo minimizar costos, no puede necesariamente maximizar rendimientos y minimizar riesgos, ni compartir un pastel dándole la cantidad máxima a cada niño. La literatura está llena de retórica donde una persona clama por hacer lo mejor para todo el mundo en la mejor forma posible, en el tiempo más - corto, con la mínima inconveniencia y con la máxima seguridad ¡Ah por la simplicidad del mundo soñado de los románticos confusos . La esencia del problema es la de intercambios de valor y en esta exposición se verá lo que es posible hacer para pensar sistemáticamente -

sobre tales intercambios.

Método de Reducción. El decisor debe

a) Seleccionar alguna posición terminal como su posición base.

b) En cada posición terminal escribir las diferencias con su posición base.

c) En las diferencias positivas determinar la mínima cantidad de dinero por la cual estaría dispuesto a cambiarlas y en las negativas la máxima cantidad que estaría dispuesto a pagar para pasar a la posición base.

d) Ajustar los valores terminales sumándoles la cantidad dada en el inciso c) si la cantidad fué positiva y restándoselas si fué negativa.

Ejemplo: Para resolver el problema de contaminación en el área de la ciudad de México se han propuesto 4 sistemas A B C y D. Se considera que las medidas de efectividad relevantes en este caso son: Número de días que se incrementa la vida de una persona debido a la disminución de la contaminación respecto a la actual, número de días por persona que deja de estar en cama por la disminución de la contaminación y costo del programa.

Se tienen los datos siguientes.

Sistema	Días por persona Medida 1	Días por persona Medida 2	Millones de pesos Medida 3
A	2,000	550	25
B	3,200	650	28
C	3,800	480	35
D	4,000	500	30

Siguiendo los pasos indicados se tiene

a) Considérese (3 200, 650, 28) como la posición base.

b)

Sistema	Días por persona Medida 1	Días por persona Medida 2	Millones de pesos Medida 3
A	-1,200	-100	-3
B	0	0	0
C	600	-170	7
D	800	-150	2

c)

Sistema	Días por persona Medida 1	Días por persona Medida 2	Millones de pesos Medida 3
A	-5	-3	+ 3
B	0	0	0
C	3	-5	- 7
D	4	-4	- 2

d) Sistema A -5 Sistema B 0 Sistema C -9 Sistema D -2

e) Sistema que se debe seleccionar considerando el resultado obtenido evidentemente es el B.

Funciones multiobjetivas para ordenar méritos. Se dan en primer lugar las definiciones siguientes:

R y F son dos atributos preferencialmente independientes si se cumple que la preferencia de R dado que ocurrirfa un valor de F es igual a la preferencia de R.

Independencia en preferencia de primer orden se tiene cuando un atributo es independiente de los demás e independientes en preferencia por pares ocurre cuando dos atributos son independientes de los demás. Cuando se cumple que los atributos son independientes preferencialmente tanto individualmente como por pares la función de preferencia conjunta es de tipo aditivo.

Ejemplo 2.- Se desea seleccionar un sistema de transporte masivo para una ciudad. Se han propuesto 4 sistemas. Alternativas I, II, III y IV. Los atributos considerados son: tiempo de viaje, disminución de accidentes, costo de construcción, operación y mantenimiento, y costo del pasaje. Se consideran preferencialmente independientes tanto individualmente como por pares

Sistema	Medida 1 en minutos	Medida 2 No.de accidentes	Medida 3 millones de pesos	Medida 4
I	8	900	120	4
II	13	800	150	3
III	17	750	140	5
IV	12	650	200	7

En primer lugar se obtendrán las funciones de preferencia para cada uno de los atributos. Se determinará para la medida 4 su función de preferencia, teniendo presente que las demás se determinarán de manera semejante.

1.- Se encuentran los límites inferior y superior de esta medida, los cuales son 3 y 7 respectivamente.

2.- Arbitrariamente se les asigna a estos límites una preferencia. Preferencia de 7= 0 y preferencia de 3 = 1

3.- Se pide el punto medio en preferencia entre 3 y 7. Suponga que fué 4. Esto quiere decir que si para pasar de un costo de pasaje de $7.00 a $4.00 estamos dispuestos a pagar una cierta cantidad, para pasar de $4.00 a $3.00 la cantidad que estamos dispuestos a pagar coincide con la anterior. En caso de que no fuera así se va moviendo la cantidad de enmedio hasta que se logra esta coincidencia.

Se encuentra también el punto medio en preferencia entre 3 y 4 y el punto medio entre 4 y 7. Sean estos 3.20 y 5 respectivamente. La preferencia de 3.20 es de .75 la de 4, .5 y la de 5, .25.

La función de preferencia para atributos múltiples puesto que éstos son preferencialmente independientes tanto individualmente como por pares es de tipo aditivo.

$$P(X_1,X_2,X_3,X_4) = L_1 P_1 (X_1)+L_2 P_2 (X_2)+ L_3 P_3 (X_3)+ L_4 P_4 (X_4)$$

Donde X_1 es el tiempo de viaje, X_2 el número de accidentes, X_3 el costo de construcción y X_4 el costo del pasaje. $P(X)$ es la preferencia del atributo.

cuentra en su mejor situación y los otros 3 en la peor:

A	8	900	200	7
B	17	650	200	7
C	17	900	120	7
D	17	900	200	3

Se le pide al decisor que ordene estas situaciones según sus preferencias. El piensa que su órden de preferencias de mayor a menor es C B D y A; que si la situación C costara 130 millones sería indiferente con la situación B; si la situación C costara 140 millones sería indiferente con la situación D y que si costara 165 millones tendría una situación de indiferencia con la A.

Suponga que la preferencia de 130 es .7, la de 140 .6 y la de 165 .5 Considerando las condiciones anteriores y la función de preferencia se obtiene - que .7 de L_3 es igual a L_2. Que .6 de L_3 es igual a L_4 y .5 de L_3 es igual a L_1.

Al obtener la preferencia de una situación donde ocurre todo lo mejor se obtiene que $L_1 + L_2 + L_3 + L_4 = 1$ por lo que tenemos un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas cuya solución es:

$L_1 = .18$

$L_2 = .25$

$L_3 = .36$

$L_4 = .21$

Nuestra función de preferencia es $.18\ P_1(X_1) + .25\ P_2(X_2) + .36\ P_3(X_3) + .21 + P_4(X_4)$

Hace falta encontrar los valores de L_1, L_2, L_3 y L_4. Para ello se efectúa lo siguiente:

1.- Se forman situaciones hipotéticas en las que uno de los atributos se encuentra en su mejor situación y los otros 3 en la peor:

A	8	900	200	7
B	17	650	200	7
C	17	900	120	7
D	17	900	200	3

Se le pide al decisor que ordene estas situaciones según sus preferencias. El piensa que su órden de preferencia de mayor a menor es C B D y A; si la situación C costara 130 millones sería indiferente con la situación B; si la situación C costara 140 millones sería indiferente con la situación D y que si costara 165 millones tendría una situación de indiferencia con la A.

Suponga que la preferencia de 130 es .7, la de 140 .6 y la de 165 .5 Considerando las condiciones anteriores y la función de preferencia se obtiene que .7 de L_3 es igual a L_2. Que .6 de L_3 es igual a L_4 y .5 de L_3 es igual a L_1.

Al obtener la preferencia de una situación donde ocurre todo lo mejor se obtiene que $L_1 + L_2 + L_3 + L_4 = 1$ por lo que tenemos un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas cuya solución es:

$L_1 = .18$

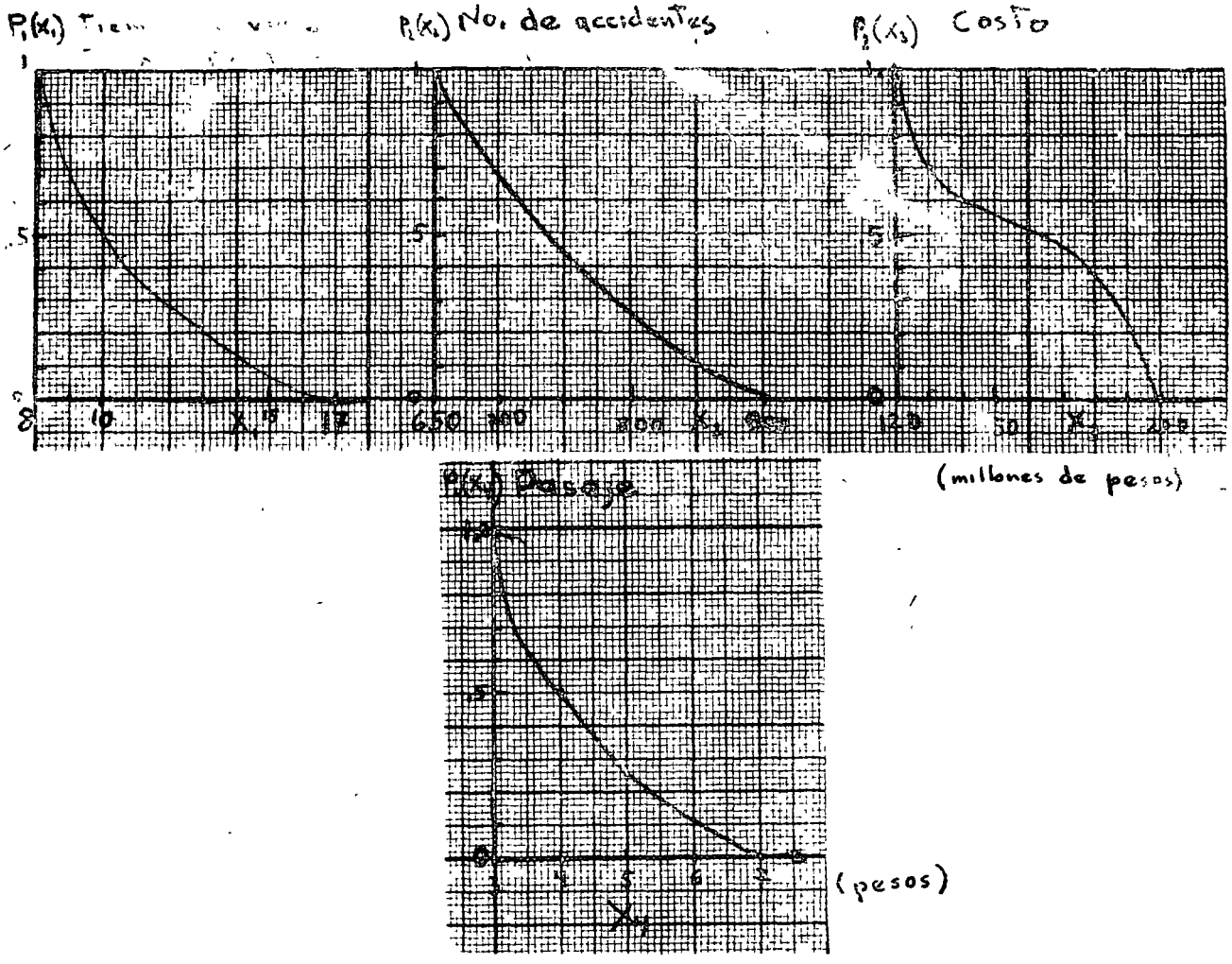
$L_2 = .25$

$L_3 = .36$

$L_4 = .21$

Nuestra función de preferencia es

$$.18\,P_1(X_1) + .25\,P_2(X_2) + .36\,P_3(X_3) + .21\,P_4(X_4)$$



De manera que las preferencias para los sistemas son

I $p(8, 900, 120, 4) = .18 \times 1 + .25 \times 0 + .36 \times 1 + .21 \times .5 = .645$

II $p(13, 800, 150, 3) = .18 \times .2 + .25 \times .25 + .36 \times .56 + .21 \times 1 = .511$

III $p(17, 750, 140, 5) = .18 \times 0 + .25 \times 44 + .36 \times .60 + .21 \times .25 = .379$

IV $p(12, 650, 200, 7) = .18 \times .28 + .25 \times 1 + .36 \times 0 + .21 \times 0 = .30$

luego el sistema que debe seleccionarse es el I.

Bibliografía.

A. Wayne Wymore "Systems Engineering Methodology for Interdisciplinary Teams" Wiley 1976

Tiene 230 referencias.

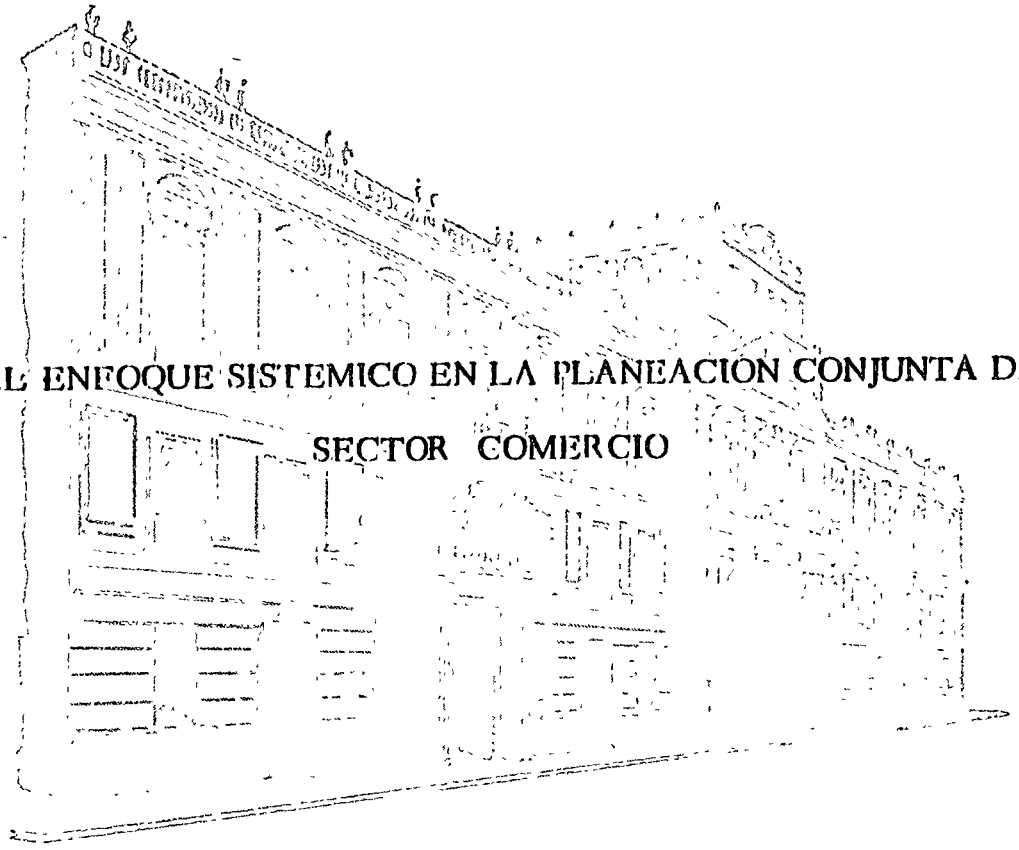
Keeney and Raiffa "Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs" Wiley 1976

Tiene 209 referencias.

El traslape de estas referencias es solamente de seis.

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

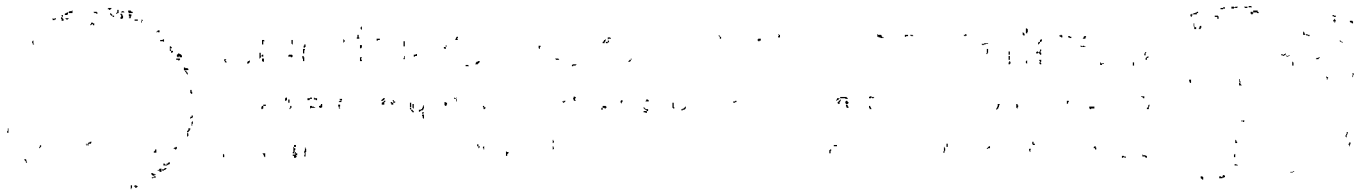
FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS



EL ENFOQUE SISTEMICO EN LA PLANEACION CONJUNTA DEL SECTOR COMERCIO

DR. JUAN PRAWDA

Junio-Agosto, 1977.



EL ENFOQUE SISTEMICO EN LA PLANEACION CONJUNTA DEL SECTOR COMERCIO

Dr. Juan Prawda
Dirección General de Programación
Secretaría de Comercio

I.- OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo, compartir con el lector las experiencias logradas en el ejercicio programático que el Sector Comercio ha venido realizando desde enero de 1977, utilizando una metodología de enfoque sistémico.

Con este ejercicio programático se pretende que el Sector Comercio:

a) incremente su efectividad y eficiencia, refiriéndose el primer concepto al logro de los objetivos que se han fijado, y el segundo, al uso económico de recursos para llevar a cabo sus actividades,

b) incremente su capacidad para aprender de sus experiencias y adaptarse a los cambios internos y externos del sector,

c) presente un ejemplo de autosuperación, que pueda emularse en el futuro.

II.- ANTECEDENTES

La actual estructura administrativa pública federal

tiene su fundamentación legal en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de diciembre de 1976, en la Ley de Presupuesto, Contabilidad y Gasto Público, publicada el 31 de diciembre de 1976, en la Ley General de Deuda Pública y en el Acuerdo Presidencial de división de sectores, publicada en el Diario Oficial el 27 de enero de 1977.

Todas estas disposiciones legales tienen como objetivo poner un marco legal a una serie de actividades que permita que el Gobierno Federal se administre mejor para poder mejor administrar.

Una de las consecuencias importantes del agrupamiento por sectores radica en que la cabeza o responsable de cada sector, le corresponde planear, coordinar y evaluar la operación de las entidades que lo integran.

Las actividades del sector público, centralizado y paraestatal, se realizarán en forma programada con base en las políticas, prioridades y restricciones, que para el logro de los objetivos y metas de los planes de gobierno fije el Presidente de la República directamente o a través de las dependencias competentes.

El control y vigilancia, financiero y administrativo, de la operación del sector paraestatal corresponde a la cabeza de sector.

La cabeza de sector tiene la facultad de orientar y - coordinar la planeación, programación, presupuestación, control y evaluación del gasto de las entidades que queden ubicadas bajo su coordinación.

Consecuencia de lo anterior, se supone, es que trabajando por sectores, se podrá responzabilizar a un individuo para que dentro del sector que el coordine, se puedan separar fines - de medios, fines que a su vez son medios para lograr propósitos del Gobierno Federal, elaborar programas tendientes a lograr los fines del sector, presupuestar los mismos una vez fijadas las metas de cada programa, y por último, evaluar los efectos periódicos que estos programas tienen sobre los objetivos o fines que - persigue el sector y de ser necesario, introducir mecanismos correctivos a través de procesos de control (lámina 1).

En enero 2, 1977 se dió vida jurídica a la división -- sectorial del Gobierno Federal. En la lámina 2 se presenta esquemáticamente esta división, que en forma muy somera consiste en:

a) un sector coordinado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público que coordina las actividades de 141 organismos, entre los que se cuentan, entre otros, a la Loteria Nacional, el Banco de México, el Banco de Crédito Rural, el Banco Internacional, Nacional Financiera, Nacional Financiera Azucarera, Somex, etc,

SECTORES → SEPARACION DE FINES CON MEDIOS → ELABORAR PROGRAMAS → PRESUPUESTAR PROGRAMAS → EVALUAR Y CONTROLAR

b) un sector coordinado por la Secretaría de Programación y Presupuesto (antes de Presidencia) y que se responsabiliza de 2 organismos,

c) un sector coordinado por la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (antes de Patrimonio), que se responsabiliza de 249 organismos, entre los que se encuentran Pemex, CFE, AHMSA, - Complejo Ciudad Sahagun, Las Truchas, etc,

d) un sector coordinado por la Secretaría de Comercio, que coordina 39 organismos, entre otros, -- CONASUPO, Instituto Mexicano de Café, Instituto Mexicano de Comercio Exterior, Instituto del Consumidor, Impulsora del Pequeño Comercio, etc,

e) un sector coordinado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, con 85 organismos, - entre los que destacan Albamex, Tabamex, etc.

Estas 5 secretarías, junto con la Secretaría de Gobernación y del Trabajo, y el Departamento de Pesca (con 29 organismos), forman el Gabinete Económico, que junto con el responsable del Ejecutivo Federal proporcionan los lineamientos ecónomicos del país.

El siguiente conjunto de 5 sectores, forman parte de un gabinete, al que yo he dado por llamar, de servicios. Estos son:

f) un sector coordinado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con 60 organismos, entre los que destacan Teléfonos de México, FFCC, Aeropuertos y Servicios Auxiliares, Aeroméxico, Caminos y Puentes Federales de Ingreso, etc,

g) un sector coordinado por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, que contiene 88 organismos, entre los que se cuentan a todas las Juntas Federales de Mejoras,

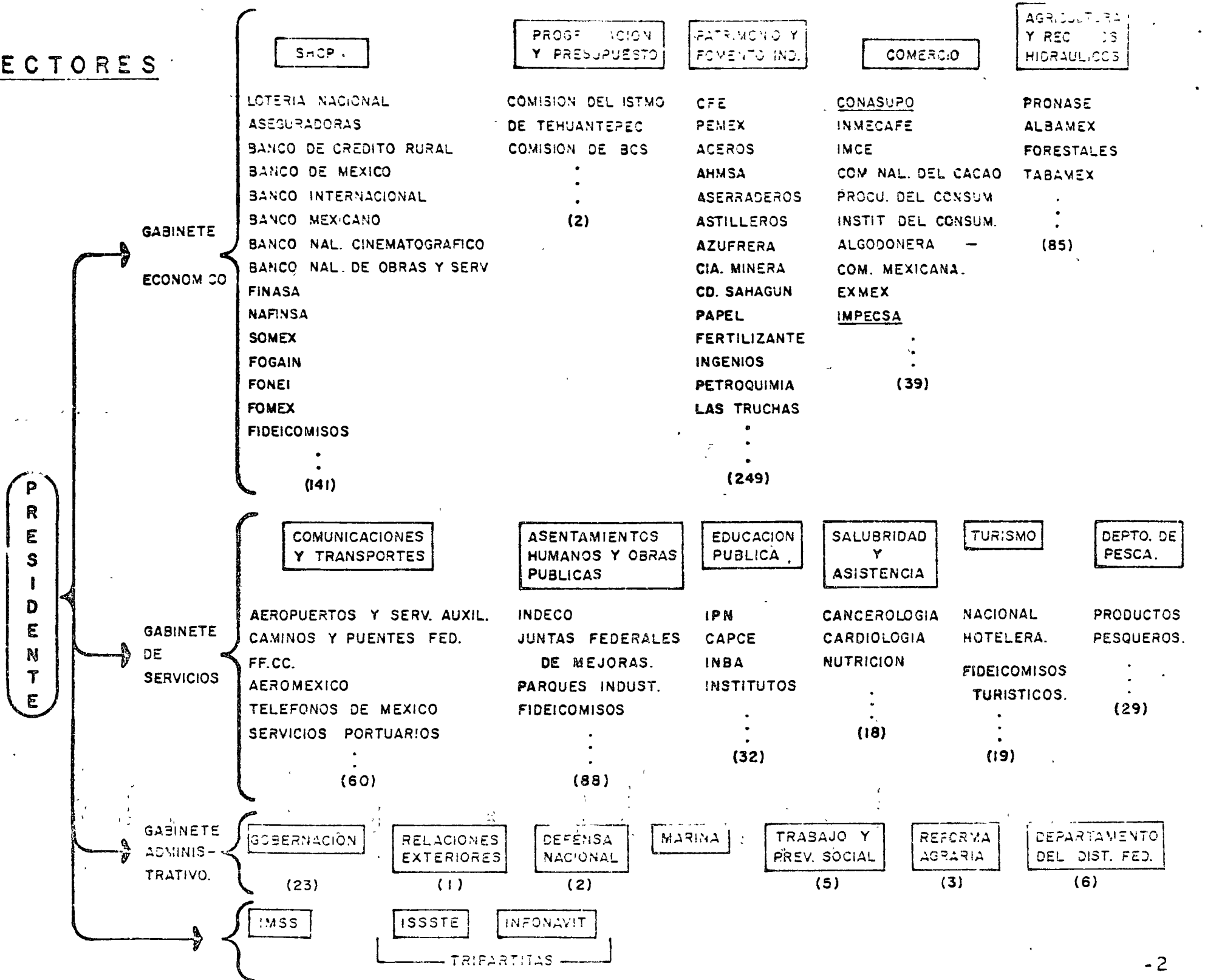
h) un sector coordinado por la Secretaría de Educación Pública, con 32 organismos como el IPN y el INBA,

i) un sector coordinado por la Secretaría de Salubridad y Asistencia con 18 organismos,

j) un sector coordinado por la Secretaría de Turismo con 19 organismos.

Los siguientes 7 sectores, forman parte de lo que yo llamo gabinete administrativo, y esta constituído por las Secretarías de Gobernación (con 23 organismos), Relaciones Exteriores (1), Defensa Nacional (2), Marina, Trabajo y Previsión Social (5), Reforma Agraria (3) y el Departamento del Distrito Federal (6).

SECTORES


PRESIDENTE
GABINETE ECONOMICO
SHCP.
LOTERIA NACIONAL
ASEGURADORAS
BANCO DE CREDITO RURAL
BANCO DE MEXICO
BANCO INTERNACIONAL
BANCO MEXICANO
BANCO NAL. CINEMATOGRAFICO
BANCO NAL. DE OBRAS Y SERV
FINASA
NAFINSA
SOMEX
FOGAIN
FONEI
FOMEX
FIDEICOMISOS
(141)
PROGRAMACION Y PRESUPUESTO
COMISION DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC
COMISION DE BCS
(2)
PATRIMONIO Y FOMENTO IND.
CFE
PEMEX
ACEROS
AHMSA
ASERRADEROS
ASTILLEROS
AZUFRERA
CIA. MINERA
CD. SAHAGUN
PAPEL
FERTILIZANTE
INGENIOS
PETROQUIMIA
LAS TRUCHAS
(249)
COMERCIO
CONASUPO
INMECAFE
IMCE
COM NAL. DEL CACAO
PROCU. DEL CONSUM
INSTIT DEL CONSUM.
ALGODONERA — COM. MEXICANA.
EXMEX
IMPECSA
(39)
AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
PRONASE
ALBAMEX
FORESTALES
TABAMEX
(85)
GABINETE DE SERVICIOS
COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
AEROPUERTOS Y SERV. AUXIL.
CAMINOS Y PUENTES FED.
FF.CC.
AEROMEXICO
TELEFONOS DE MEXICO
SERVICIOS PORTUARIOS
(60)
ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS
INDECO
JUNTAS FEDERALES DE MEJORAS.
PARQUES INDUST.
FIDEICOMISOS
(88)
EDUCACION PUBLICA
IPN
CAPCE
INBA
INSTITUTOS
(32)
SALUBRIDAD Y ASISTENCIA
CANCEROLOGIA
CARDIOLOGIA
NUTRICION
(18)
TURISMO
NACIONAL HOTELERA.
FIDEICOMISOS TURISTICOS.
(19)
DEPTO. DE PESCA.
PRODUCTOS PESQUEROS.
(29)
GABINETE ADMINISTRATIVO.
GOBERNACION
(23)
RELACIONES EXTERIORES
(1)
DEFENSA NACIONAL
(2)
MARINA
TRABAJO Y PREV. SOCIAL
(5)
REFORMA AGRARIA
(3)
DEPARTAMENTO DEL DIST. FED.
(6)
IMSS
ISSSTE
INFONAVIT
TRIPARTITAS

Todas las cabezas de sector acuerdan directamente con el jefe del Ejecutivo Federal. Tres otros grandes organismos públicos, el IMSS, INFONAVIT y el ISSSTE quedan fuera de cualquier sector, en los dos primeros casos por ser organismos tripartitas, acordando directamente con sus respectivos consejos de administración, los cuales a su vez responden al Jefe del Ejecutivo Federal. El IMSS y el ISSSTE coordinan sus actividades con el Sector de Salud y el INFONAVIT con el Sector de Asentamientos Humanos.

En resumen, 802 organismos públicos (organismos descentralizados y empresas paraestatales) han sido agrupadas en 11 sectores (Financiero, Programación, Industrial, Comercio, Agrícola, Comunicaciones y Transportes, Asentamientos Humanos, Educación, Salud, Turismo y Pesca).

¿Es este ejercicio de reagrupación un nuevo capricho de la actual administración, con un contenido de fondo prácticamente vacío? Si no lo es, ¿qué tipo de anomalías de la actual burocracia se pretende corregir? ¿Cómo?.

Para responder a estas y otras preguntas, conviene en primer lugar, hacer un diagnóstico pertinente a la organización del Gobierno Federal, señalando las anomalías que son un común denominador en todos los organismos, los efectos nocivos que estas generan y las medidas adecuadas para aminorarlas, o inclu-

sive, hacerlas desaparecer.

Un instrumento para realizar el diagnóstico sugerido, lo constituye el enfoque sistémico o análisis de sistemas de la organización burocrática.

No fue necesario hacer extensivo el diagnóstico a todos los organismos públicos y paraestatales, ya que las anomalías que en breve se señalarán, son tan generales y comunes en todos estos organismos, que basta estudiar a fondo uno de ellos, para conocerlas en todos.

Lo que a continuación se señala, es producto de un proyecto realizado en la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO), por un grupo de funcionarios[1], en el perído octubre 1975 - noviembre 1976.

El haber realizado este diagnóstico en CONASUPO, tuvo varias ventajas, a saber:

a) la CONASUPO, es una organización que tiene el quinto presupuesto de operación anual más grande del país incluyendo el sector público y privado. Solamente la Secretaría de Educación Pública, PEMEX, CFE y el IMSS, manejan presupuestos mayores.

---

[1] Lic. F. Solana, Dr. R. Ackoff, Ing. M. Alonzo, Dr. R. Carvajal, Dr. L. Corona, Ing. E. Jimenez, Ing. J. López y Dr. Juan Prawda.

b) La CONASUPO es una organización bastante compleja, - ya que cuenta con cerca de 5000 puntos de ventas de artículos de consumo popular, 2000 bodegas rurales - y cerca de 500 bodegas urbanas.

c) La CONASUPO comercializa (compra, almacena, distribuye y vende), cerca del 20% del volúmen total de maíz y 50% de trigo. Además, es el único organismo autorizado para realizar operaciones comerciales con el exterior, en productos gramíneos.

d) La CONASUPO cuenta con el aparato productivo más importante del país en la línea de harinas de maíz, aceites comestibles, pastas de oleaginosas y leche deshidratada.

Las anomalías a que me referí en parráfos anteriores son de órden técnico, por lo que se deja asentado de una vez, que anomalías tales como la corrupción (producto neto de nuestra cultura, - educación, valores, etc.), administradores incompetentes y obsoletos (productos del compadrazgo político), son defectos inherentes en nuestro sistema, y que deberán pasar varias generaciones, para ver sus efectos considerablemente aminorados.

Las anomalías técnicas a las que me voy a referir, son -- tales que, de desaparecer, hacen que el funcionario más o menos competente y responsable, pueda realizar su trabajo con más efectivi--

dad y eficiencia, y aún más, pueda medir el logro de sus esfuer-- zos dentro del todo donde se mueve.

III.- DIAGNOSTICO DE ANOMALIAS TECNICAS DE ORGANIZACION

La CONASUPO fue creada con 3 objetivos en mente, claramente expresados en su acta constitutiva:

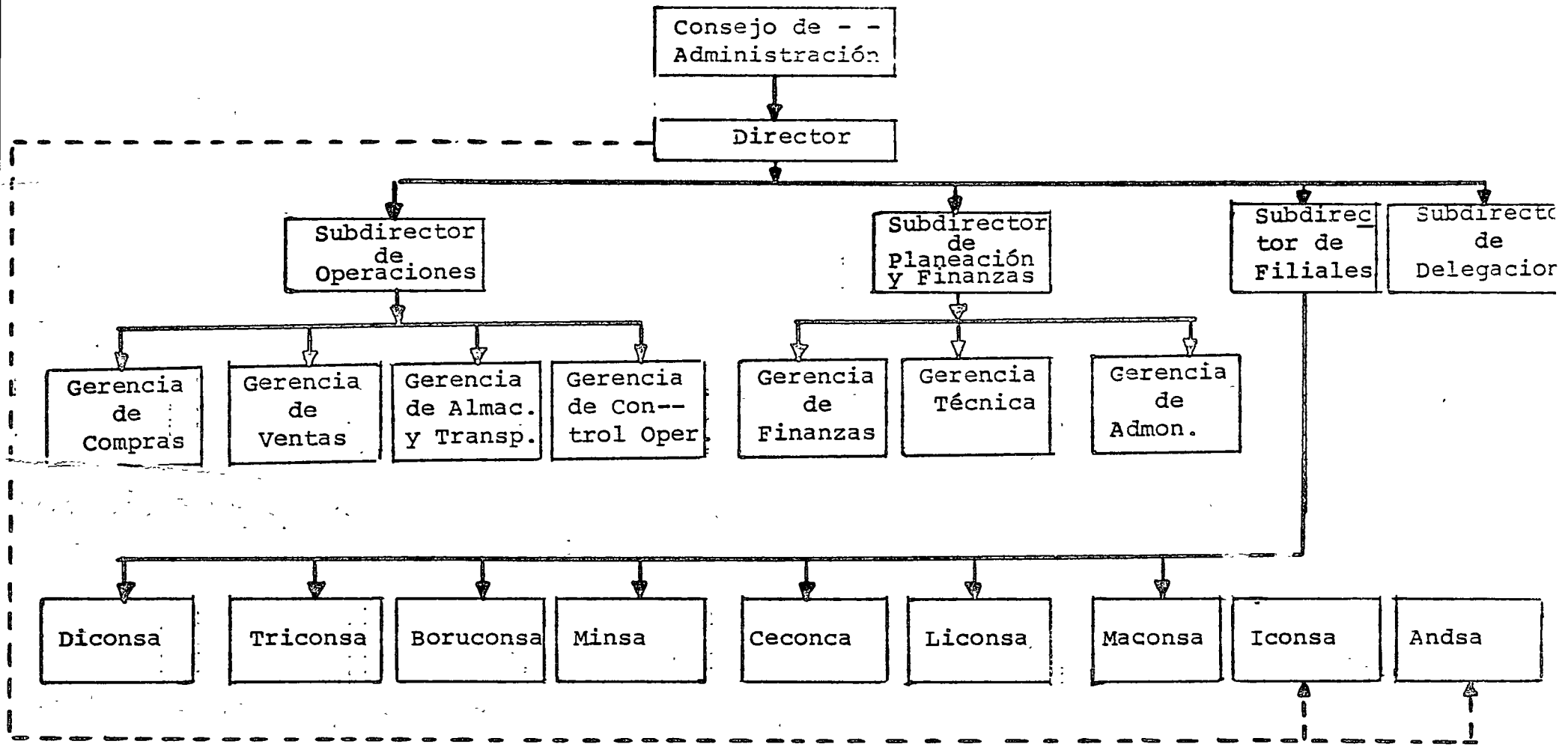
a) regular el mercado de subsistencias populares,

b) proteger a los productores de subsistencias populares de escasos recursos, y

c) proteger a los consumidores de escasos recursos.

Si se analiza el organigrama de CONASUPO (lámina 3), se encontrará con que no existen responsables de programas para alcanzar dichos objetivos, ya que las unidades operativas que se muestran en dicho organigrama tipo árbol, tienen que ver con los instrumen-- tos o medios para el logro de los objetivos.

Por ejemplo, las gerencias de compra, venta, almacenamiento y transportes, finanzas tienen que ver con instrumentos o medios para lograr un fin. Tienen que ver con el como, y no con el para - que. Esto se sustenta facilmente al analizar los objetivos de la - CONASUPO, y observar que estos no especifican que el fin de CONASUPO es comprar, vender, almacenar o transportar subsistencias populares, sino que estas son actividades (medios o instrumentos) necesarios para el logro de ciertos fines.


Consejo de Administración
Director
Subdirector de Operaciones
Subdirector de Planeación y Finanzas
Subdirector de Filiales
Subdirecto de Delegacior
Gerencia de Compras
Gerencia de Ventas
Gerencia de Almac. y Transp.
Gerencia de Con-- trol Oper.
Gerencia de Finanzas
Gerencia Técnica
Gerencia de Admon.
Diconsa
Triconsa
Boruconsa
Minsa
Ceconca
Liconsa
Maconsa
Iconsa
Andsa

La primera observación es que el tipo de organización de CONASUPO, típica en todo el sector público, privado e inclusive parte del académico, no tiene responsables de fines sino unicamente de medios. De ahí que con el tiempo, los medios cobran importancia sobre los fines de la organización.

Sirva el siguiente ejemplo para aclarar la observación anterior (ver lámina 4).

Se supone el segundo objetivo de la CONASUPO, referente a la protección de los productores de subsistencias populares de escasos recursos. Un programa tendiente al logro de este objetivo sería el de proteger a todos los productores de maíz de escasos recursos en el país. El grupo meta a ser protegido, como es del conocimiento de todos, lo forman los campesinos de temporal, ya que en las zonas de riego, se cultivan productos, como el algodón, trigo, soya, cártamo, sorgo, etc., que comercialmente hablando, dejan mejores márgenes de utilidad que el maíz, además de que en las zonas de riego, se tienen mejores rendimientos por hectárea cultivada, que en las zonas de temporal.

Para ejecutar dicho programa de protección se deben realizar una serie de actividades, que se pueden agrupar en 2 grandes familias, a las que bautizo como actividades externas ó actividades objetivo y actividades internas ó actividades de apoyo y que a continuación defino:

- actividades externas u objetivo son aquellas necesarias para el logro de los programas, pero que son consumidas por los beneficiarios del programa (campesinos en este caso),

- actividades internas o de apoyo son aquellas necesarias para el logro de los programas, pero que son consumidas por los participantes del programa (en este caso, la CONASUPO).

Entre las actividades externas u objetivo definidas para este programa se encuentran:

- compra del maíz,
- almacenamiento rural del maíz,
- distribución del maíz,
- almacenamiento urbano del maíz,
- venta del maíz,
- capacitación campesina,

y dentro de las actividades internas o de apoyo se tienen aquellas relacionadas con los:

- recursos financieros,
- recursos humanos,
- recursos materiales,

H I S T O R I A 1973 - 1976

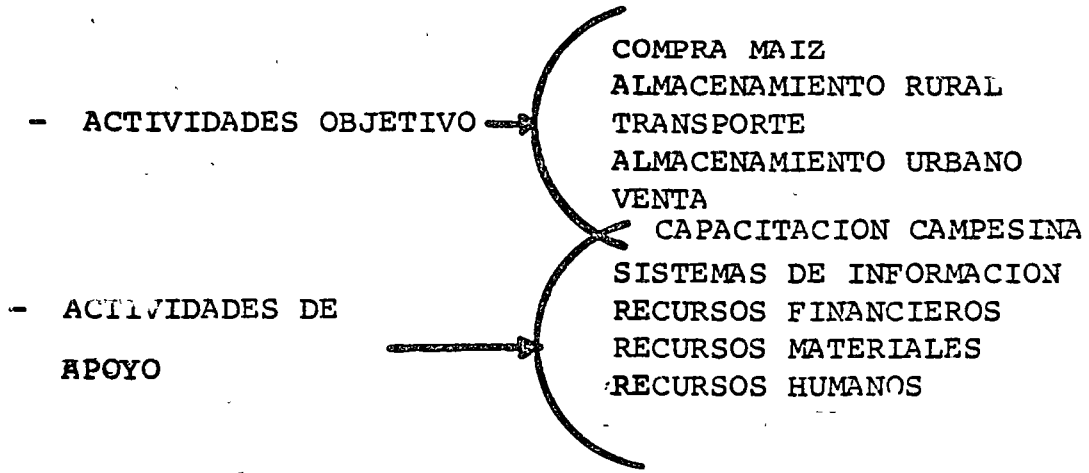
UN OBJETIVO DE CONASUPO

- PROTEGER A LOS PRODUCTORES DE SUBSISTENCIAS POPULARES DE ESCASOS RECURSOS

UN PROGRAMA ASOCIADO A DICHO OBJETIVO

- MAIZ

ALGUNAS ACTIVIDADES DE DICHO PROGRAMA

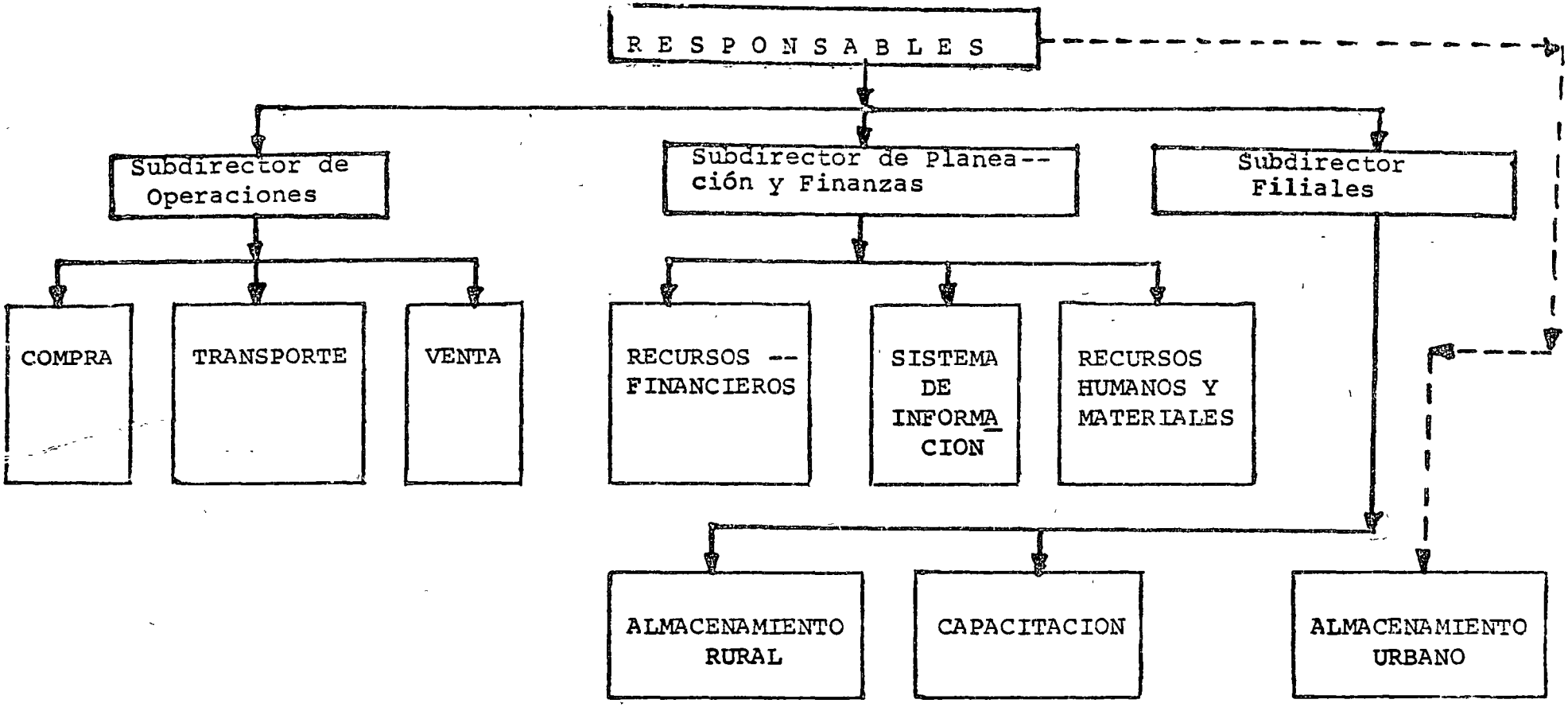


- sistemas de información,
- relaciones públicas,
- aspectos legales.

El caos que ocurre, además de no tener un responsable del programa (unicamente responsables de grupo de actividades, medios o instrumentos) es la falta de coordinación. Se explica a continuación.

Si se observa cuidadosamente la lámina 5 (que es parte del organigrama de la organización), y si se acepta que la cabeza de la organización, el director general, cumple con una función prioritaria de enlace con el mundo exterior, entonces, las actividades externas no recaen sobre un solo responsable, ocurriendo lo mismo con las actividades de apoyo, aunque en menor grado. Las actividades de compra, venta y transporte reportan a una subdirección, las de almacenamiento rural y capacitación, a otra subdirección, y por último, la actividad de almacenamiento urbano reporta directamente a la cabeza de la organización (a través de un consejo de administración).

La falta de coordinación ocurre, en la medida en que unidades a un mismo nivel de jerarquía, compiten, en vez de cooperar. La competencia es obvia, pues el mismo tipo de estructura triangular, hace que este instrumento de competencia sea utilizado en la ascención vertical de posiciones. La falta de cooperación consiste sencillamente en no compartir plenamente


RESPONSABLES
Subdirector de Operaciones
Subdirector de Planea-- ción y Finanzas
Subdirector Filiales
COMPRA
TRANSPORTE
VENTA
RECURSOS -- FINANCIEROS
SISTEMA DE INFORMA CION
RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES
ALMACENAMIENTO RURAL
CAPACITACION
ALMACENAMIENTO URBANO

la información a la que ciertas unidades tienen acceso, y -- guardar ésta, como punzón político en el momento de darle el puntillazo al contrincante más cercano.

Otro problema serio que está inherente en este tipo de organización es la falta de integración (coordinación vertical) y control.

Dificilmente el responsable de una unidad se comunica con el responsable de una unidad que depende de él, pero que se encuentra 2 o 3 niveles más abajo en la jerarquía. El tipo de organización triangular dificulta esta comunicación, - porque siempre existe un intermediario, el responsable de la -- unidad inmediatamente inferior en la jerarquía. El resultado de esta falta de integración es un incremento en el ruido de - la comunicación de arriba para abajo y viceversa.

La falta de control se explica en el hecho de que al no existir responsables de programas, no existen medidas de -- logros de los mismos, por lo que no se sabe si la realización de un programa (suponiendo que este se realice en un 100%), -- acerca a la organización a los objetivos que se persiguen, si la alejan más o sí no hubo cambio relativo. Al no haber res-- ponsable de programas, no se pueden fijar metas, y con éstas, - el nivel de consumo de recursos de las actividades asociadas - a dicho programa. En resúmen la falta de control, (asociada - esta siempre a una evaluación), no permite saber si la organi-

zación es efectiva (logro de objetivos) y eficiente (uso económico de medios).

Es del conocimiento público, que la gran mayoría de los organismos paraestatales, salvo contadas excepciones, son inefectivos (no cumplen plenamente con los fines para los que fueron creados) e ineficientes (son muy costosas de operar, -- trabajan con pérdidas).

Estas estructuras orgánicas rígidas obstaculizan el aprendizaje[2/] (fruto de experiencias) y la adaptación (a los - cambios internos y externos), propician la burocracia de las - unidades operativas de la organización, entendiéndose a esta, -- como el fin de sobrevivir y no de actuar para el objetivo con la que fueron creadas. Por último, este tipo de estructura -- origina una baja calidad del trabajo, de su rendimiento y de - la satisfacción de su cometido, ya que el personal adscrito a una unidad tiene pocas oportunidades de avance, se le impide - el conocimiento pleno de la organización (rotación de puestos) y genera monotonía en el tipo de actividad que realiza (ver -- lámina 6).

¿Ante este tipo de estructura orgánica que se puede hacer?

2/ Este concepto se explica más adelante.

EN LA ESTRUCTURA PIRAMIDAL TRADICIONAL

- SE CONFUNDEN FINES CON MEDIOS
- LOS MEDIOS ADQUIEREN UN PAPEL PREPONDERANTE SOBRE LOS FINES
- FALTA COORDINACION. SE ESTIMULA LA COMPETENCIA Y NO LA COOPERACION
- FALTA INTEGRACION Y CONTROL
- TENDENCIA AL BUROCRATISMO
- BAJA CALIDAD DEL TRABAJO Y DE SATISFACCION EN SU COMETIDO
- ESTRUCTURA RIGIDA EN DONDE SE DIFICULTA EL APRENDIZAJE Y LA ADAPTACION

IV.- PLANEACION PROSPECTIVA

Si por planeación se entiende anticiparse al futuro, en México no se hace planeación. A lo sumo, se realiza un tipo de planeación retrospectiva. Este tipo de planeación consiste en realizar estudios de diagnóstico sobre una organización, identificando las deficiencias que se trata de corregir y eliminando una por una y en forma independiente una de otra. Este tipo de enfoque se dirige del presente al futuro mirando al pasado. La orientación retrospectiva proporciona una buena visión sobre -- donde se está o se ha estado, pero no sobre hacia donde se dirige o debe dirigirse. Reacciona con lo que se encuentra en el -- pasado de la organización, pero no con lo que se desea en el futuro. Este tipo de planeación es análogo a velear para no hundirse, sin importar a donde quiere uno dirigir su velero.

El enfoque que se propone para resolver las anomalías -- señaladas en la sección anterior es de tipo prospectivo Mirar al futuro para ver que se quiere ser; construir un ideal, es la base de este tipo de planeación En la analogía del velero, es dirigirlo hacia donde uno quiere ir.

Existen solo 2 restricciones para la construcción de -- ideales, médula de la planeación prospectiva:

- el diseño debe ser tecnológicamente factible, para -- evitar que el diseño ideal se convierta en ciencia -- ficción, y
- el diseño idealizado debe ser capaz de sobrevivir y de ser operado en caso de ser instrumentado.

Un diseño idealizado dice lo que uno quiere ser. Eso no significa que el producto de un diseño ideal es el ideal - mismo, pero es una buena aproximación.

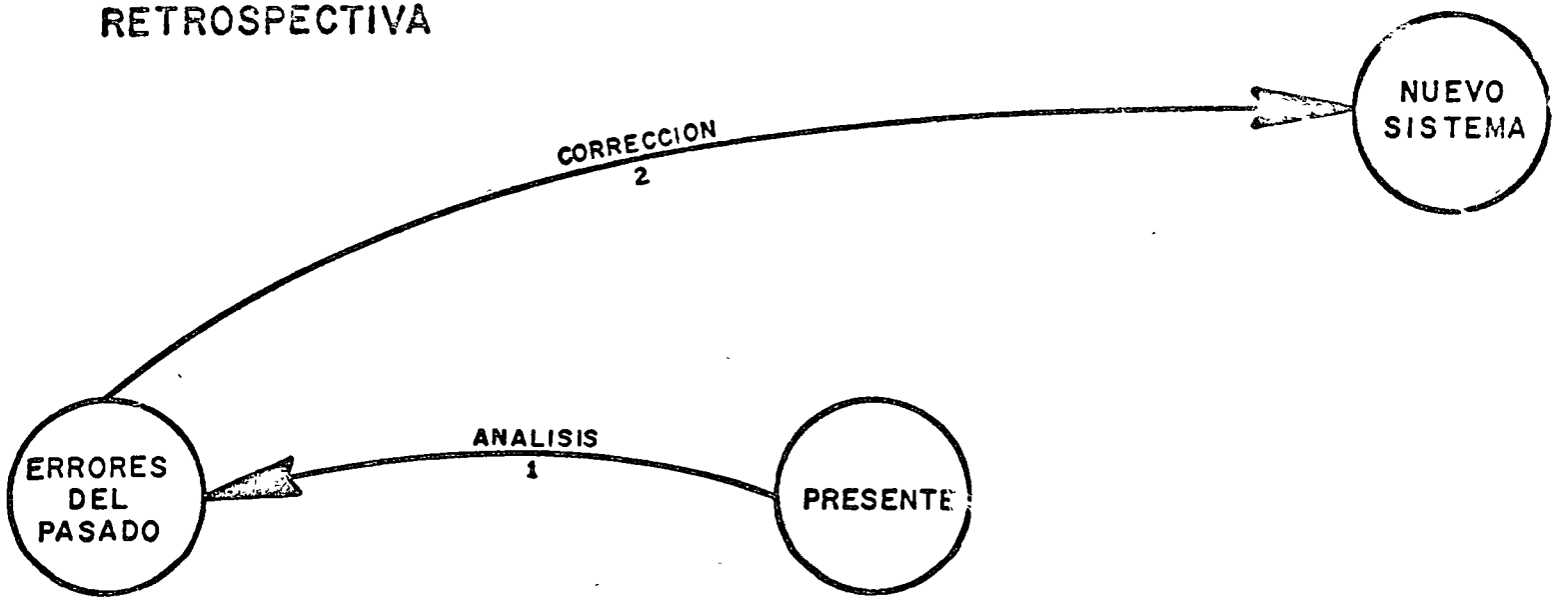
Al ver lo que se quiere ser y donde se está, se identifican los medios necesarios para alcanzar el ideal.

Sin intención alguna, los diseñadores de ideales pueden estar renstringidos en algún período determinado del diseño por falta de información, conocimientos, entendimiento e imagina- - ción. Sin embargo, como un ideal no es un concepto rígido, inflexible, sino que por el contrario, es un concepto que se adapta a las condiciones cambiantes externas e internas de la organización, y es un concepto que aprende de la experiencia, de -- los errores que se cometen en el transcurso de alcanzar el ideal, que estas supuestas limitaciones, muy marcadas al principio de de la construcción del ideal, deben ir desapareciendo.

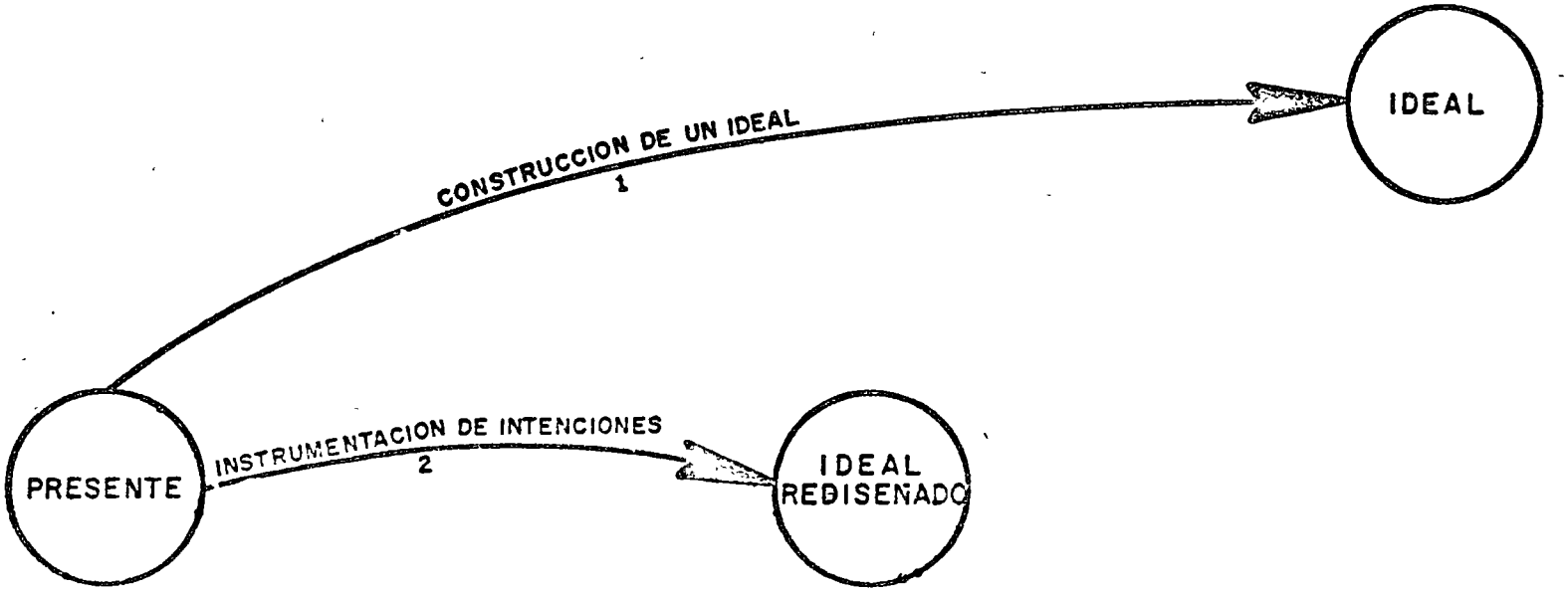
Un diseño ideal no es una utopía, precisamente porque - el producto obtenido tiene una autosuperación continua. Está - basado en lo que sus diseñadores pueden hacer en ese momento, - pero opuestamente a una utopía, reconoce el hecho de que un diseño ideal no permanece ideal por mucho tiempo (ver lámina 7).

Antes de compartir con el lector el diseño ideal de estructura orgánica que se hizo para la CONASUPO, y que sirvió de base para todo el ejercicio de programación que se está rea-

PLANEACION RETROSPECTIVA



PLANEACION PROSPECTIVA

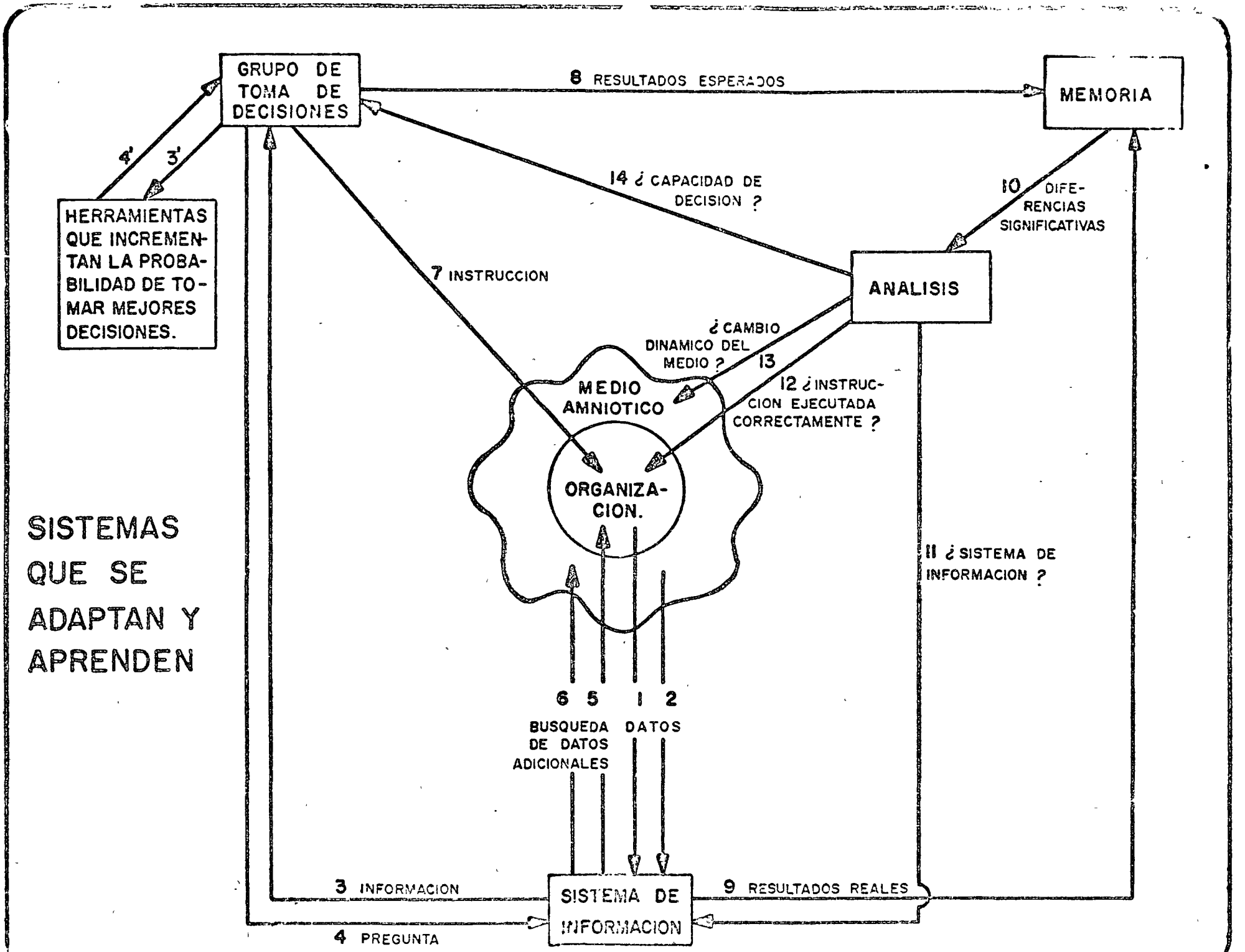


lizando actualmente en el sector comercio, conviene ahondar - en lo que se entiende por un sistema que aprende y se adapta.

V.- SISTEMAS QUE APRENDEN Y SE ADAPTAN

Un sistema que aprende y se adapta, tal como el que se ilustra en la lámina 8, consiste sencillamente de lo siguiente:

- una organización contenida dentro de un medio, al que le he dado por llamar medio amniótico,
- un sistema de información que es capaz de convertir los datos de la organización (1) y del medio (2) en - información (3),
- un grupo de toma de decisiones que basado en la in- - formación que reciben (3), y apoyados por grupos de - especialistas, con los cuales dialogan (3' y 4'), e - interrogando al sistema de información (4) para obtener información adicional de la organización (5) o -- del medio (6), toman una decisión, cuando tienen la - suficiente información ó cuando han llegado al límite de tiempo y emiten una instrucción (7),
- el grupo de toma de decisiones especifica los resultados que esperan de la ejecución de su instrucción y confinan esta información en una memoria (8),
- el sistema de información mide los resultados reales ocasionados por la ejecución de la instrucción (9), -- los cuales son transmitidos a la memoria,


GRUPO DE TOMA DE DECISIONES
8 RESULTADOS ESPERADOS
MEMORIA
4'
3'
HERRAMIENTAS QUE INCREMENTAN LA PROBABILIDAD DE TOMAR MEJORES DECISIONES.
14 ¿ CAPACIDAD DE DECISION ?
10 DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS
7 INSTRUCCION
ANALISIS
¿ CAMBIO DINAMICO DEL MEDIO ?
13
12 ¿ INSTRUCCION EJECUTADA CORRECTAMENTE ?
MEDIO AMNIOTICO
ORGANIZACION.
SISTEMAS QUE SE ADAPTAN Y APRENDEN
11 ¿ SISTEMA DE INFORMACION ?
6 5 1 2
BUSQUEDA DE DATOS ADICIONALES
DATOS
3 INFORMACION
SISTEMA DE INFORMACION
9 RESULTADOS REALES
4 PREGUNTA

- las diferencias significativas entre resultados esperados y reales son enviadas a un grupo de análisis (10), para que se identifiquen las causas de estas discrepancias significativas,
- el grupo de análisis debe diagnosticar el origen de estas discrepancias en base a un mal funcionamiento del sistema de información (11), mala interpretación en la ejecución de la instrucción (12), cambio dinámico del medio ambiente (13) que hace inefectiva la instrucción del grupo de toma de decisiones, ó bien, la capacidad del grupo de decisiones de actuar apropiadamente a las circunstancias (14).

El sistema anterior aprende en la medida que el grupo de análisis identifica las causas de las discrepancias significativas, y estas disminuyen con el tiempo. Es más, si al principio se tiene un gran número de ellas, y con el tiempo se reducen a casi cero, el aprendizaje que tiene la organización es muy rico y benéfico para la misma.

El sistema descrito se adapta, en la medida que el sistema de información logre captar los cambios internos y externos y los comunique al grupo de toma de decisiones, así como en la capacidad que este tiene de interrogar al medio y a la misma organización.

VI.- EL DISEÑO IDEAL PARA CONASUPO

El estudio prospectivo que se hizo de CONASUPO, utilizando un enfoque sistémico, produjo una organización ideal basado en las siguientes 5 ideas básicas (ver lámina 9).

I.- La estructura de una organización debe surgir de la naturaleza de sus fines y medios.

Una organización es un sistema con propósito, cuyas partes son individuos agrupados por funciones diferentes. La definición de las funciones básicas debe derivarse del análisis de los fines y medios de la organización. Esto hace posible diseñar una organización en la que cada unidad tiene una idea clara sobre su función y los objetivos globales de la organización. Este conocimiento puede contribuir en forma importante en la efectividad y eficiencia de las partes y del todo. También previene, o al menos desalienta, la burocratización.

II.- Las unidades de la organización deben ser tan autónomas como sea posible, sujetas a los requisitos necesarios para obtener una coordinación efectiva.

Se buscó llevar la responsabilidad y autoridad en la organización tan abajo como fuera posible para enriquecer el trabajo, hacerlo estimulante, motivar y proveer oportunidades para el autodesarrollo individual. Esto podría maximizar el desarrollo personal, satisfacción y calidad del trabajo.

III.- Para cada unidad de la organización debe formularse una medida del desempeño y la agregación de estas - debe ser igual a la medida del desempeño de la organización como un todo.

Esto permite a cada unidad de la organización evaluar su desempeño.

El empleo de medidas explícitas de desarrollo de las unidades no solo estimularían la efectividad y eficiencia,-- aprendizaje y adaptación, sino que también desalentaría la - burocratización en el sentido definido previamente.

IV.- Debe ser posible agregar, eliminar o modificar facilmente las unidades sin alterar excesivamente la organización en su totalidad, sus partes o los individuos afectados. Esto en pocas palabras significa que la organización debe ser capaz de aprender y adaptarse.

La flexibilidad del cambio representa progreso tanto para el personal como de la organización.

V.- Todo funcionario o administrador debe tener responsabilidad de coordinar un número no mayor de actividades, - cualitativamente diferentes, de las que sea posible ocuparse - sin dejar de tratar cada unidad con su propia individualidad.

Esta amplitud de control, extensamente estudiada, indica que un administrador no debe tener responsabilidad sobre 7 ± 2 actividades cualitativamente diferentes. Si se sobre-

ESTRUCTURA DE UNA ORGANIZACION DEBE SURGIR DE LA NATURALEZA DE SUS FINES Y MEDIOS

- UNIDADES DE LA ORGANIZACION DEBEN SER TAN AUTONOMAS COMO SEA POSIBLE

- DEBEN BUSCARSE MEDIDAS DE DESEMPEÑO PARA CADA FIN (MEDIDAS DE EFECTIVIDAD DE LA ORGANIZACION) Y MEDIDAS DE OPERACION DE LOS MEDIOS (MEDIDAS DE EFICIENCIA DE LA ORGANIZACION)

- LA ORGANIZACION DEBE SER CAPAZ DE APRENDER Y ADAPTARSE (AGREGAR, ELIMINAR O MODIFICAR FACILMENTE UNIDADES)

- UN RESPONSABLE (DE UN FIN O UN MEDIO) NO DEBE COORDINAR MAS DE 7 ± 2 ACTIVIDADES CUALITATIVAMENTE DIFERENTES

pasa esta cantidad se tiende a crear ineficiencia, inefectividad, inseguridad, ansiedad y se termina burocratizando a la unidad.

El diseño idealizado de CONASUPO fue estructurado -- con estas 5 ideas.

El enfoque sistémico empezó por identificar las dimensiones mínimas con las que se podían definir a CONASUPO Estas fueron:

- fines (objetivos),
- medios (actividades),
- clases de subsistencias (productos),
- regiones geográficas,
- beneficiarios,
- participantes

El análisis de los fines de CONASUPO se llevó a cabo en 3 etápas: a) identificación de los objetivos nacionales relevantes; b) definición de la función de CONASUPO para lograr dichos objetivos, y c) extracción de los objetivos de CONASUPO de esta función.

Se consideró que el objetivo nacional relevante para CONASUPO era MAXIMIZAR el desarrollo nacional a través de:

- mejorar el nivel de vida (riqueza) y su distribución.

- optimizar la calidad de la vida (satisfacción) y su distribución,
- incrementar la igualdad de oportunidades,
- incrementar la habilidad de la gente individual y colectivamente, para mejorar su nivel y calidad de vida (concepto moderno, no economicista, de desarrollo).

Se considera que el papel de CONASUPO en el logro del objetivo de desarrollo nacional es:

- actuar como instrumento del gobierno de México para servir a la población urbana y rural con bajos ingresos principalmente mediante la compra, producción y venta de productos necesarios para su subsistencia

De esta definición de la función de CONASUPO se deducen los siguientes 5 objetivos:

I.- Incrementar el ingreso de los productores de escasos recursos que generan subsistencias,

II.- aumentar la producción de subsistencia y la productividad,,

III.- mejorar la calidad de los bienes de subsistencia,

IV.- incrementar la disponibilidad de los bienes de subsistencia a los consumidores de escasos recursos, y de los bienes y servicios requeridos para producirlos, a sus productores.

V.- incrementar el poder de compra de los consumidores de escasos recursos para adquirir bienes de subsistencia y de los productores de bajos recursos, para adquirir bienes y servicios requeridos para producirlos.

Estos fines dieron origen a 5 programas que requieren de las siguientes actividades externas u objetivos:

- compra de productos de subsistencia,
- transporte,
- producción,
- almacenamiento,
- venta, arrendamiento y préstamo,
- crédito y seguros,
- educación, capacitación y desarrollo,

y de las siguientes actividades internas o de apoyo:

- servicios de información,
- servicios jurídicos,
- contabilidad, auditoría y control financiero,
- personal,
- compra, transporte y mantenimiento,
- relaciones públicas,
- construcción y producción de activos fijos,
- servicios generales.

Los beneficiarios del sistema lo constituyen los campesinos de escasos recursos dedicados a la producción de subsistencias populares, los procesadores o productores rurales ó urbanos de escasos recursos de subsistencias populares y los consumidores rurales y urbanos de escasos recursos.

En cuanto a las clases de subsistencias se consideraron alimentos, vestido (incluye calzado), productos para la -- salud y vivienda y mobiliario.

La regionalización de los servicios de CONASUPO, se basó en la propuesta por la Comisión Nacional de Desarrollo Regional, que divide al país en 10 regiones.

El diseño ideal, que se muestra en la lámina 10, es -- una organización matricial tridimensional[3/], donde las dimensiones son: fines (objetivos-programas), medios externos (actividades objetivo) y medios internos (actividades de apoyo)

La organización matricial (ver láminas 11, 12 y 13) -- tiene las siguientes propiedades:

- los programas se deducen de los fines de la organización y tienen medidas de desempeño o efectividad - (relación de logros contra metas propuestas),
- los programas tienen personal ejecutivo, pero no personal operativo u otra clase de personal (cada pro-

3/ Bidimensional, si se abate la coordenada de actividades internas al eje de las actividades externas.

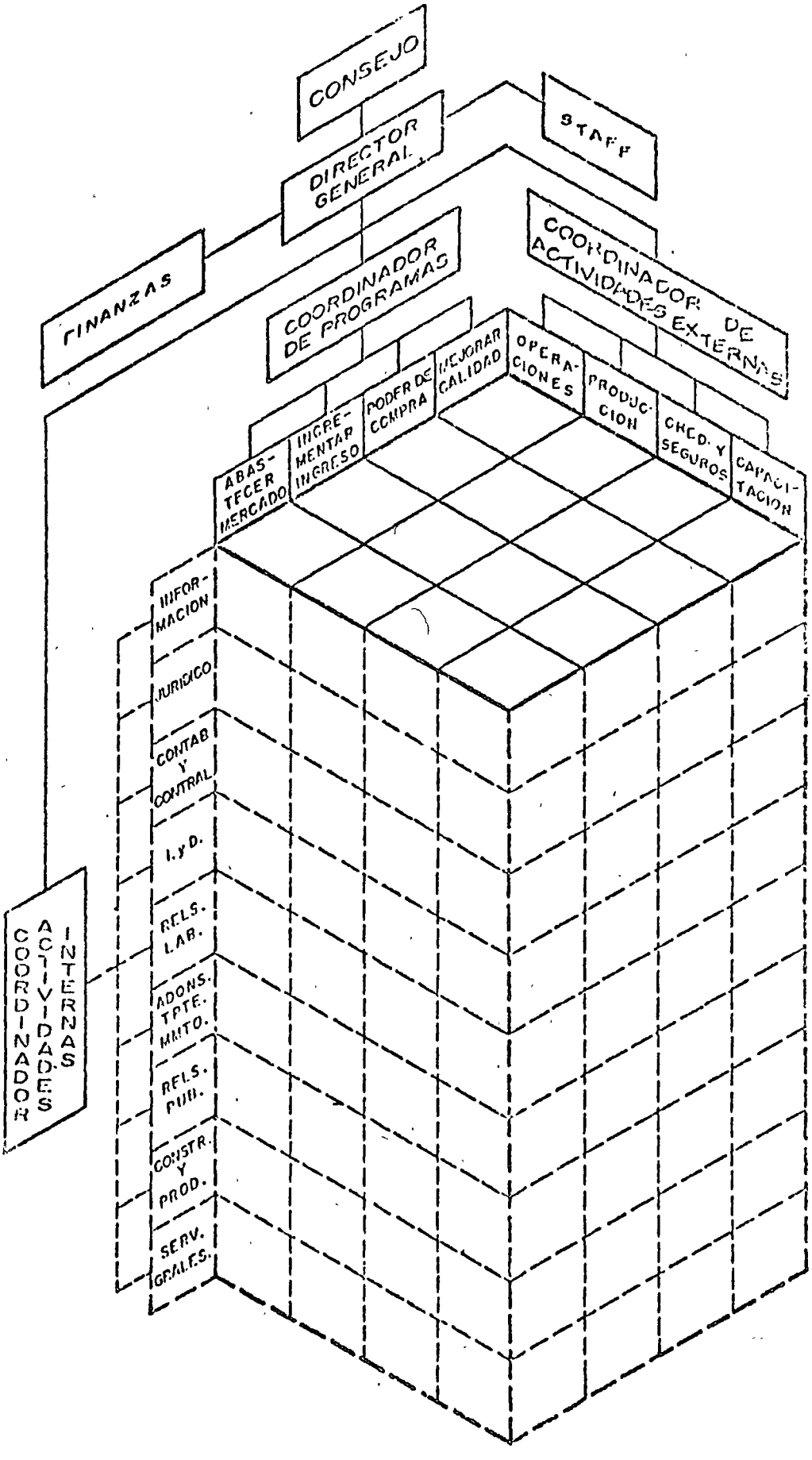


Fig 5. La estructura orgánica téorica derivada del estudio preliminar

grama tiene un responsable),

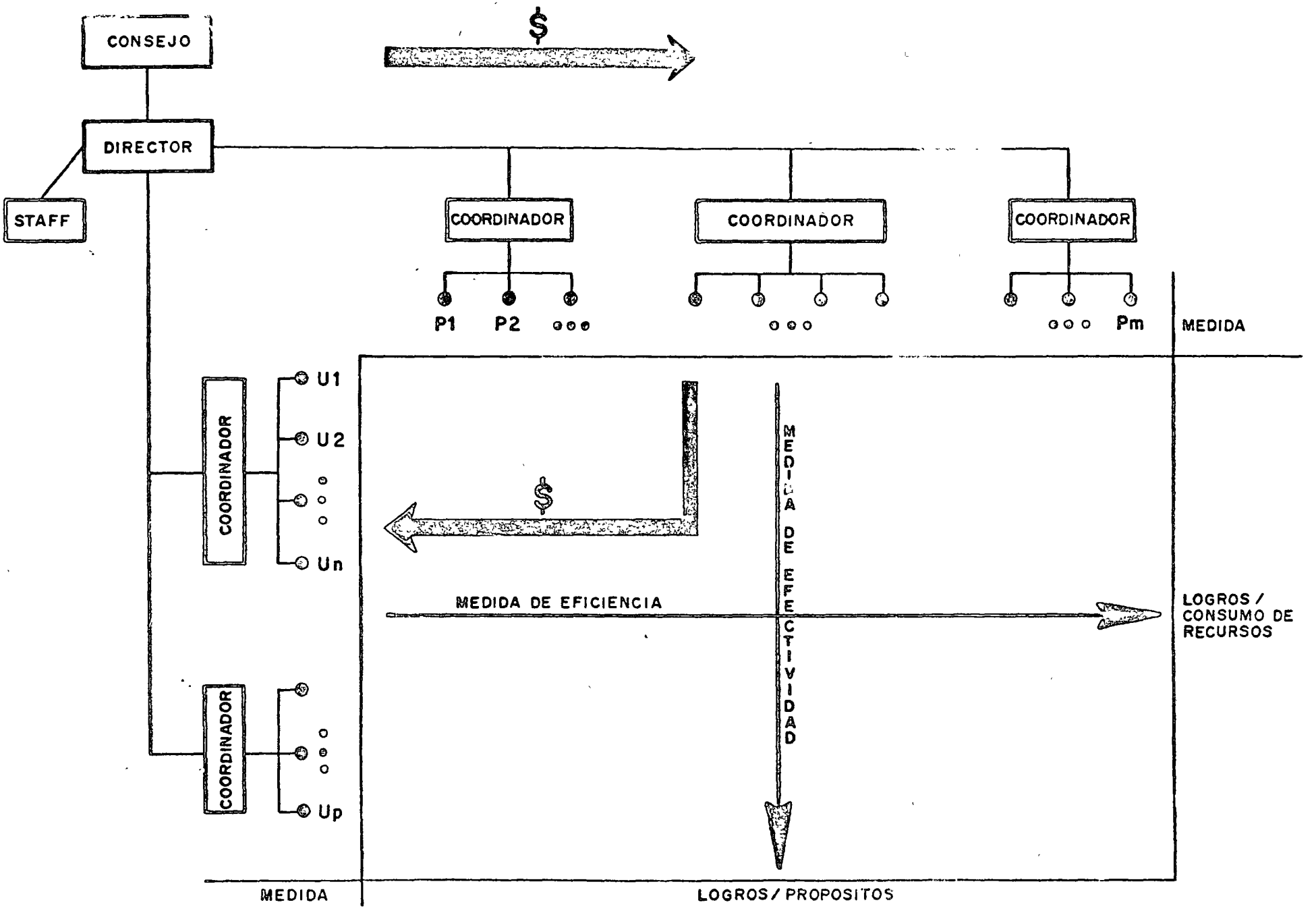
- los programas no tienen planta ni equipo,
- los programas adquieren bienes y servicios de las unidades operativas de la organización o del exterior, según les convenga,
- los programas tienen presupuesto; pueden tener un subsidio en caso de operar con pérdidas, pero el beneficio social que producen (que se puede medir) debe exceder el costo del programa.

Las actividades, tanto externas como internas tienen las siguientes características dentro de la organización matricial:

- están integradas por personal, planta y equipo,
- venden sus servicios o bienes a los programas y/o clientes externos, según les convenga,
- no tienen presupuesto ni subsidio; deben operar con utilidades; si no operan con utilidad, es posible que dejen de operar,
- las unidades operativas (actividades) deben dar parte de sus utilidades a la organización y retener el resto para reinvertir en sus actividades.

La medida de desempeño de los programas (columnas de la organización matricial) proporciona la efectividad del sis-

ESTRUCTURA ORGANICA MATRICIAL



tema, mientras que la medida de desempeño de las actividades (filas de la organización matricial) proporcionaría la efi- - ciencia de la organización.

La conyuntura política de fin de sexenio, que es cuando se terminó este proyecto, impidió la instrumentación de la estructura ideal.

¿Fué entonces un proyecto estéril que no condujo a nada?.

La respuesta a esta pregunta se discute en la siguiente sección.

VII.- LA PLANEACION PARTICIPATIVA DEL SECTOR COMERCIO

El actual responsable del sector comercio, fue participante activo del proyecto explicado en la sección anterior. No es de extrañarse, que al iniciarse la actual administra- - ción, se le haya dado especial énfasis a la programación sectorial del gobierno federal, y en especial, para el caso de - nuestra exposición, al sector comercio. El éxito de cual- -- quier proyecto, se basa en el convencimiento que tienen sus - participantes, de los beneficios que de el, puedan derivarse.

En forma participativa, la Secretaría de Comercio, -- entendiéndose a ésta, como el conjunto de todas sus unidades operativas, heredadas o inventadas a principios del presente - año, más todos los organismos, que constituyen el sector -- comercio, establecieron los 4 objetivos fundamentales (lámina

P R O G R A M A S

- SE DEDUCEN A PARTIR DE LOS OBJETIVOS
- TIENEN PERSONAL EJECUTIVO PERO NO OPERATIVO
- NO TIENEN PLANTA NI EQUIPO
- ADQUIEREN BIENES Y SERVICIOS DE LA ORGANIZACION O DEL EXTERIOR, SEGUN CONVENGA
- TIENEN PRESUPUESTO
- SU MEDIDA DE EFECTIVIDAD LA PROPORCIONA EL COCIENTE LOGROS/PROPOSITOS

M E D I O S

ESTAN INTEGRADOS POR PERSONAL, PLANTA Y EQUIPO

- VENDEN SUS SERVICIOS A PROGRAMAS Y/O AL EXTERIOR SEGUN LES CONVENGA
- NO TIENEN PRESUPUESTO, NI SUBSIDIO. DEBEN OPERAR CON UTILIDAD. SI NO OPERAN CON UTILIDAD PUEDEN DESAPARECER
- PUEDEN REINVERTIR SUS UTILIDADES
- SU MEDIDA DE EFICIENCIA LA PROPORCIONA EL COCIENTE LOGROS/CONSUMO DE RECURSOS, SUJETO A LA RESTRICCION DE OPERAR CON UTILIDADES

los, con los cuales dicho sector pretende coadyuvar a la -- prosecución de los objetivos generales del estado, en el -- campo de la actividad comercial.

Estos 4 fines, congelados ya por el Jefe del Ejecutivo Federal, por lo menos para 1977, se refieren en forma condensada a:

- asegurar el abasto de una canasta de bienes y servicios socialmente necesarios a toda la población del país,
- incrementar la eficiencia y la eficacia de los sistemas comerciales del país,
- hacer participe al consumidor en los procesos de -- comercialización, y
- efectuar un comercio exterior mas racional, exportando más e importando mejor.

Con objeto de derivar programas para la consecución de estos objetivos, fue necesario desglosar a estos en sub-- objetivos (láminas 15, 16, 17 y 18).

El primer objetivo se subdivide en subobjetivos de -- producción, distribución y accesibilidad de la canasta de -- bienes y servicios socialmente necesarios (lámina 15).

SECTOR COMERCIO

OBJETIVOS GENERALES

COADYUVAR A LA PROSECUCION DE LOS OBJETIVOS GENERALES DEL ESTADO, EN EL CAMPO DE LA ACTIVIDAD COMERCIAL:

1. ASEGURAR A TODA LA POBLACION DEL PAIS -PARTICULARMENTE A LOS GRUPOS DE MENOR INGRESO Y A LA QUE HABITA EN REGIONES Y LOCALIDADES MARGINADAS- EL ABASTO DE LOS BIENES Y SERVICIOS SOCIALMENTE NECESARIOS, A PRECIOS ACCESIBLES.

2. INCREMENTAR LA EFICIENCIA Y LA EFICACIA DE LOS SISTEMAS COMERCIALES DEL PAIS.

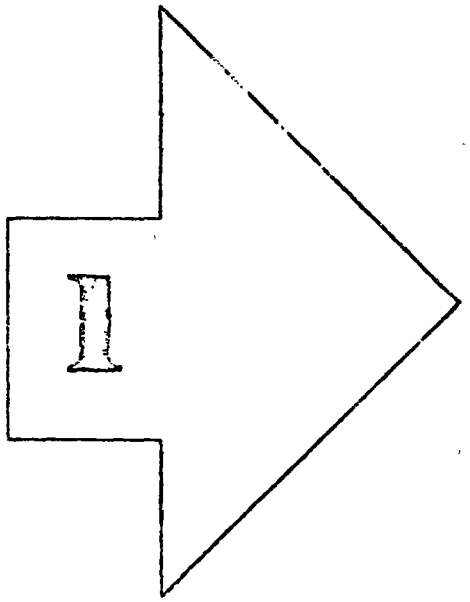
3. PROCURAR QUE LA POBLACION HAGA UN MEJOR USO DE SUS RECURSOS EN LA ADQUISICION DE LOS BIENES Y SERVICIOS NECESARIOS, Y ASEGURAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS DERECHOS DEL CONSUMIDOR.

4. CONTRIBUIR AL MEJORAMIENTO DE LA BALANZA COMERCIAL CON EL EXTERIOR, DE ACUERDO CON LAS POLITICAS Y METAS GENERALES DE DESARROLLO DEL PAIS Y LAS DE GENERACION DE EMPLEOS

SECTOR COMERCIO

OBJETIVO 1

ASEGURAR A TODA LA POBLACION DEL PAIS -PARTICULARMENTE A LOS GRUPOS DE MENOR INGRESO Y A LA QUE HABITA EN REGIONES Y LOCALIDADES MARGINADAS- EL ABASTO DE LOS BIENES Y SERVICIOS SOCIALMENTE NECESARIOS, A PRECIOS ACCESIBLES



SUBOBJETIVO 1.1

COADYUVAR CON OTRAS DEPENDENCIAS Y ENTIDADES, A ESTIMULAR LA PRODUCCION DE LOS BIENES Y SERVICIOS SOCIALMENTE NECESARIOS.

SUBOBJETIVO 1.2

ASEGURAR NACIONAL, REGIONAL Y LOCALMENTE, LA DISTRIBUCION OPORTUNA Y SUFICIENTE DE LOS BIENES Y SERVICIOS SOCIALMENTE NECESARIOS.

SUBOBJETIVO 1.3

LOGRAR QUE LOS BIENES Y SERVICIOS LLEGUEN A PRECIOS ACCESIBLES, PARTICULARMENTE A LA POBLACION DE ESCASOS RECURSOS

El segundo objetivo se subdivide en subobjetivos de información, transformación de las unidades comerciales y - reducción en la intermediación de las operaciones comerciales (lámina 16).

El tercer objetivo se subdivide en subobjetivos de - calidad de los productos, orientación y protección del consumidor (lámina 17).

El cuarto y último objetivo se subdivide en subojetivos referentes a importar mejor y exportar más, sobre todo de aquellos productos donde tenemos ventajas comparativas en el mercado mundial (lámina 18).

De estos fines, ya desglosados en subobjetivos, se - definieron en forma participativa[4], 36 programas que se listan en la lámina 19.

En los momentos de escribir el presente trabajo, el - sector comercio se encontraba definiendo el contenido de cada programa. En la lámina 20 se presenta en forma condensada parte de un primer borrador de lo que podría ser el programa de - "negociaciones comerciales bilaterales".

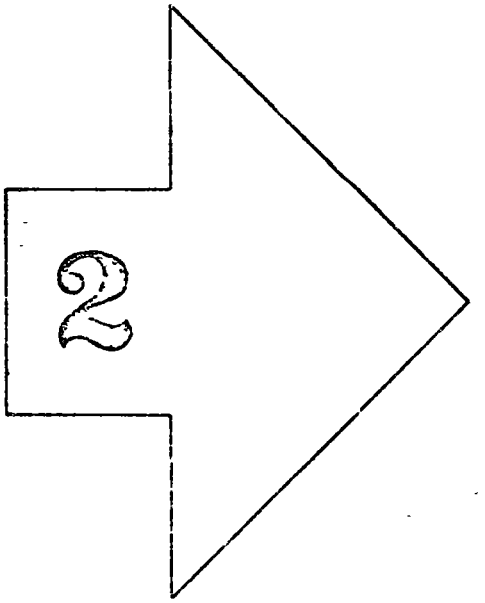
Queda aún pendiente por resolver en este ejercicio -

4/ Se discutieron y aprobaron en varias reuniones con el sector y unidades operativas de la Secretaría de Comercio.

SECTOR COMERCIO

OBJETIVO 2

INCREMENTAR LA EFICIENCIA Y LA EFICACIA DE LOS SISTEMAS COMERCIALES DEL PAIS.



SUBOBJETIVO 2.1

CREAR LOS MECANISMOS Y CONDICIONES DE MERCADO QUE DEN TRANSPARENCIA A LAS OPERACIONES COMERCIALES DE PRODUCTOS, SOCIAL Y NACIONALMENTE NECESARIOS

SUBOBJETIVO 2.2

PROPICIAR LA TRANSFORMACION DE LAS UNIDADES COMERCIALES, PRINCIPALMENTE LAS PEQUEÑAS Y DE ESCASOS RECURSOS, EN UNIDADES EFICIENTES Y EFICACES

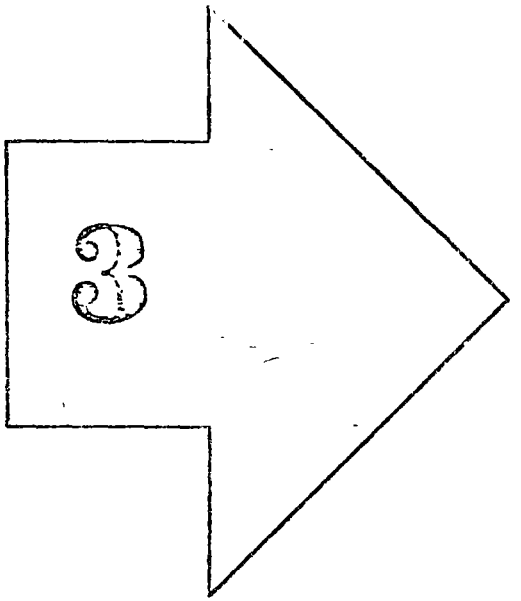
SUBOBJETIVO 2.3

REDUCIR LA INTERMEDIACION EXCESIVA EN LAS OPERACIONES COMERCIALES Y EVITAR LOS SISTEMAS DE MERCADEO QUE PERMITAN LA EXISTENCIA DE MONOPOLIOS PRIVADOS.

SECTOR COMERCIO

OBJETIVO 3

PROCURAR QUE LA POBLACION HAGA UN MEJOR USO DE SUS RECURSOS EN LA ADQUISICION DE LOS BIENES Y SERVICIOS NECESARIOS Y ASEGURAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS DERECHOS DEL CONSUMIDOR.



SUBOBJETIVO 3.1

PROPICIAR LA MEJOR CALIDAD DE LOS BIENES Y SERVICIOS QUE SE COMERCIALIZAN.

SUBOBJETIVO 3.2

ORIENTAR A LA POBLACION, PARTICULARMENTE A LA DE MENOR INGRESO, HACIA EL MEJORAMIENTO DE SUS HABITOS DE CONSUMO PARA QUE SATISFAGAN SUS NECESIDADES DE LA MANERA MAS CONVENIENTE.

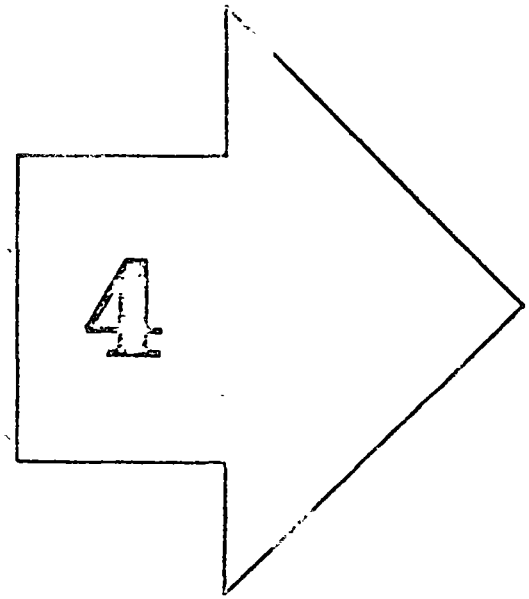
SUBOBJETIVO 3.3

PROMOVER Y SALVAGUARDAR LOS DERECHOS E INTERESES DE LA POBLACION CONSUMIDORA DEL PAIS, MEDIANTE LA IMPLANTACION Y APLICACION DE MECANISMOS, METODOS Y SISTEMAS EFECTIVOS DE PROTECCION.

SECTOR COMERCIO

OBJETIVO 4

CONTRIBUIR AL MEJORAMIENTO DE LA BALANZA COMERCIAL CON EL EXTERIOR, DE ACUERDO CON LAS POLITICAS Y METAS GENERALES DE DESARROLLO DEL PAIS Y LAS DE GENERACION DE EMPLEOS.



SUBOBJETIVO 4.1

ASEGURAR QUE LAS IMPORTACIONES CORRESPONDAN A LAS POLITICAS DE DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL DEL PAIS.

SUBOBJETIVO 4.2

COADYUVAR CON OTRAS DEPENDENCIAS Y ENTIDADES A LA PRODUCCION DE BIENES Y SERVICIOS EXPORTABLES EN LOS CUALES EL PAIS PUEDA TENER VENTAJAS COMPARATIVAS EN EL MERCADO INTERNACIONAL.

SUBOBJETIVO 4.3

INCREMENTAR LAS EXPORTACIONES

SECTOR COMERCIO

PROGRAMAS:

PARTICIPACION EN EL FOMENTO DE LA PRODUCCION DE BIENES Y SERVICIOS SOCIALMENTE NECESARIOS. PROTECCION A PRODUCTORES DE ESCASOS RECURSOS.	1
ABASTECIMIENTO NACIONAL Y LOCAL DE ALIMENTOS Y BIENES BASICOS. DISTRIBUCION EFICIENTE Y OPORTUNA DE BIENES SOCIALMENTE NECESARIOS. CREACION Y MODERNIZACION DE ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES	
PRODUCTOS BASICOS A PRECIOS ACCESIBLES. REGULACION DE PRECIOS DE MEDICINAS.	
INFORMACION (TRANSPARENCIA) DE LAS OPERACIONES COMERCIALES. ESTABLECIMIENTO DE CENTRALES DE ABASTO. CREACION Y DESARROLLO DE CENTROS DE ACOPIO DE PRODUCTOS DEL CAMPO. SISTEMA NACIONAL DE CENTRALES DE ABASTO. DESARROLLO DE LONJAS.	2
FOMENTO A LA ASOCIACION DE COMERCIANTES. PRODUCTIVIDAD DE UNIDADES COMERCIALES. CAPACITACION DE LOS RECURSOS HUMANOS PARA EL COMERCIO. FINANCIAMIENTO PARA LA OPERACION DE UNIDADES COMERCIALES. DESARROLLO Y MODERNIZACION DE UNIDADES Y SISTEMAS COMERCIALES.	
REDUCCION Y ESTABILIZACION DE MARGENES DE COMERCIALIZACION. PARTICIPACION EN EL FOMENTO DEL TRANSPORTE EFICIENTE DE MERCANCIAS. CONTROL DE PRACTICAS MONOPOLICAS.	
NORMALIZACION COMERCIAL CONTROL DE CALIDAD COMERCIAL	3
ORIENTACION AL CONSUMIDOR Y MEJORAMIENTO EN LOS HABITOS DE CONSUMO. REGLAMENTACION DE LOS DERECHOS DEL CONSUMIDOR Y DE LAS OBLIGACIONES DE LOS PROVEEDORES. DEFENSA DEL CONSUMIDOR.	
RACIONALIZACION DE LAS IMPORTACIONES ACTUALIZACION DE LAS POLITICAS DE SUSTITUCION DE IMPORTACIONES. IMPORTACIONES DEL SECTOR PUBLICO	4
PROMOCION DE OFERTA EXPORTABLE COMPETITIVA. ESTIMULOS A LAS EXPORTACIONES. FINANCIAMIENTO A LAS EXPORTACIONES.	
EXPORTACIONES DEL SECTOR PUBLICO.	
DESARROLLO E INTEGRACION COMERCIAL DE LAS FRONTERAS. NEGOCIACIONES COMERCIALES BILATERALES. NEGOCIACIONES COMERCIALES MULTILATERALES PARTICIPACION EN MERCADOS A FUTUROS.	

SUBPROGRAMA III.- NEGOCIACIONES COMERCIALES REGIONALES.

Propósito.- Programar, ejecutar y coordinar las negociaciones comerciales del país en la Asociación Latinoamericana de Libre Comercio (ALALC).

Metas Cuantificables (1978): Participar en las negociaciones en Listas Nacionales y en Acuerdos de Complementación, a fin de procurar un incremento de las exportaciones del orden de 1,724 millones de pesos.-

ACTIVIDADES.	CALENDARIO Inicio	Término.	RESULTADOS A OBTENER.	ACTIVIDADES PREVIAS REQUERIDAS.	RECURSOS HUMANOS Tipo	Tiempo	Costo	RECURSOS MA Tipo	Tiempo
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1. Participación en las negociaciones comerciales que se generen dentro del programa de liberación de la ALALC y en Acuerdos de Complementación.	1-I-78	31-XII-78	El resultado cuantitativo que se prevé obtener en 1978 por concepto de exportaciones, asciende a 1,724 millones de pesos (76.62 millones de dólares) divididos de la siguiente manera: 202 millones de pesos (8.98 millones de dólares) en Lista Nacional y 1,522 millones de pesos (67.64 millones de dólares) en Acuerdos de Complementación. Estas cifras fueron calculadas conforme a la obtención de concesiones temporales y definitivas en Lista Nacional por parte de Argentina Brasil y Uruguay, respecto a las cuales se tiene un margen de seguridad muy alto de que se otorguen a Mexico en 1978, por los contactos existentes a nivel de Reuniones Sectoriales y de Representaciones Gubernamentales. La cifra correspondiente a Acuerdos de Complementacion deriva de la renegociación de 7 de ellos, y con base a las expectativas proporcionadas por el sector empresarial.	La promoción por parte de los sectores público y/o privado de los países de la ALALC, de productos respecto a los cuales se pueden otorgar concesiones dentro del Programa de Liberación o en Acuerdos de Complementación.	A 1 A 2 A 3 A 4 B 1 B 2 B 3 C 1 D 1	Anual	$ 120 000 $ 270 000 $ 300 000 $ 96 000 $ 176 000 $ 360 000 $ 480 000 $ 245 867 $ 77 067	M 1 M 3 M 4	Anual
1.1. Recopilación y Análisis de la información estadística y evaluación de los antecedentes del caso.									
1.2. Coordinación a nivel nacional a través de reuniones y contactos con los sectores mexicanos, públicos y privados, vinculados con la negociación.									
1.3. Asistencia a las reuniones que se celebren en los foros de negociación, y participación en la misma.									
1.4. Evaluación de los resultados.									
1.5 Difusión de los logros alcanzados en la negociación.									
2. Estudiar las afectaciones de márgenes de preferencia o la aplicación de medidas restrictivas al comercio en que incurran los países miembros de la ALALC, y procurar la restitución de las condiciones originalmente pactadas.	1-I-78	31-XII-78		La afectación de márgenes de preferencia por parte de cualquier país de la ALALC, inclusive México.	A 2 A 3 A 4 B 1 B 2 B 3 C 1 D 1	Anual	$ 270 000 $ 300 000 $ 96 000 $ 176 000 $ 360 000 $ 480 000 $ 245 867 $ 77 067	M 1 M 3 M 4	Anual
3. Realización de estudios tendientes a encontrar fórmulas a través de las cuales se dinamice el programa y los mecanismos de liberación comercial en la ALALC.	1-I-78	31-XII-78			A 4 B 1 B 3 C 1 D 1	Anual	$ 96 000 $ 176 000 $ 480 000 $ 245 866 $ 77 066	M 1 M 4	Anual
			$ 1,724,000,000				$5704 800		

FUENTE: Dirección General de Negociaciones Comerciales Internacionales.

TOTAL COSTO DE CONSERVICIOS. (11)	(12)	TOTAL DE COSTOS (8) + (11) + (12) (13)	ACTIVIDADES REQUERIDAS DE OTRAS DEPENDENCIAS. (14)	O B S E R V A C I O N E S. (15)
$ 30 000 $ 55 000 $100 000	811 333	$ 3 121 267	Obtención de información estadística de la Dirección General de Estadística, Secretaría de Programación y Presupuesto; de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; etc. Particularmente, de la Dirección General de Controles a la Importación y de la Dirección General de Aranceles y Asuntos Fronterizos, de la Secretaría de Comercio, se necesita su apoyo en la eliminación de Permisos de Importación o de Aranceles, respectivamente como compensación a las concesiones que otros países otorgan a México.	
$ 30 000 $ 55 000 $100 000	811 333	$ 3 001 267	Obtención de información sobre afectaciones provenientes, entre otras fuentes de la Secretaría de Relaciones Exteriores y el IMCE.	
$ 30 000 $ 100 000	1 334	$ 1 216 266		
$500 000	$1 634 000	$ 7 338 800		

programático, los siguientes puntos que deberán quedar aclarados a más tardar el mes de agosto del presente año, fecha en la cual el sector comercio deberá presentar a la Secretaría de Programación y Presupuesto, un anteproyecto del presupuesto por programa del sector comercio para 1978:

- asignación de responsables de programas,
- fijación de metas por programa,
- determinación del nivel de las actividades requeridas por programa en función de las metas propuestas,
- determinación de los requerimientos de recursos (humanos, materiales, financieros) por actividad, en función al nivel de ésta,
- definir la medida de efectividad del programa y la metodología de la medida, así como la fuente de información.

En cuanto a las actividades externas e internas se debe aún trabajar en:

- definición de actividades,
- asignar responsables,
- definir medidas de eficiencia,
- entender con mayor profundidad la interdependencia que existe entre ciertos instrumentos, por ejemplo, estímulos a la exportación, aranceles, permisos de importación en el comercio exterior y precios, normas y - -

5/ Impulsora del Pequeño Comercio de reciente creación.

otros instrumentos como CONASUPO, IMPECSA[5] en el comercio interior.

Una vez que los programas se pongan en marcha, se requerirán de una serie de indicadores generales de objetivos, independientes de los programas, que indiquen si los fines propuestos se están alcanzando o no.

Estos indicadores generales que se proponen son:

- respecto del objetio 1, medir nacional, regional y localmente la necesidad no satisfecha de los bienes y servicios, así como, medir la relación de gasto familiar en la canasta de satisfactores socialmente necesarios respecto del ingreso, observada nuevamente en forma nacional, regional y local. Se deberá también medir el número de comunidades que no tienen acceso a esta canasta,
- respecto del objetivo 2, se pretende medir la relación de índices de precios rurales, al mayoreo, medio mayoreo y al consumidor final; medir la relación de ventas entre el valor de las instalaciones de los sistemas comerciales,
- respecto del objetivo 3, se pretende medir el contenido nutricional de los alimentos manteniendo fijo su costo; la vida útil de la ropa y artículos para el hogar; la

penetración, entre los consumidores, de la información relativa a un bien o servicios proporcionado por el sector comercio; medir el grado de dispersión de los precios observados de un producto, en un mercado, en un período de tiempo determinado; - medir el tiempo promedio en que se resuelve una -- queja de un consumidor;

- respecto del objetivo 4, se pretende medir la composición del valor y volúmen de las importaciones y exportaciones, por tipo de bienes y sectores; -- medir la composición del valor y volúmen de los -- mercados de importación y exportación; medir la -- diferencia entre precios externos e internos; me-- dir la balanza del comercio exterior; medir la tasa de crecimiento anual del valor y volúmen de las exportaciones; medir la balanza comercial de las - transacciones fronterizas; medir el contenido de - valor agregado de los principales productos exportables, donde México tiene ventajas comparativas - con el exterior.

Hasta aquí, lo que se tiene del ejercicio programáti co que se inició hace escasos 5 meses. Falta mucho por hacer, - pero la metodología sistémica para seguir adelante, para ver si se alcanzan los fines propuestos, se ha puesto en marcha. - --

Ya no es un camino de ciegos, puesto que existe un marco de lineamientos metodológicos que permitirá la planeación prospectiva del comercio.

No se pueden hacer milagros en 6 años. Basta ilustrar que el comercio en el país se rige con un código establecido en 1889, cuando las condiciones políticas, económicas y sociales del país, eran otras. Urge actualizar un marco jurídico-legal del comercio. Se hará mediante el uso de un enfoque sistémico que contemple la parte legal, económica y de organización de todos los elementos que componen el comercio, tanto interior como exterior.

En su toma de posesión, el actual Jefe del Ejecutivo Federal dijo "administramos mejor para mejor administrar el país". El enfoque de planeación prospectiva que se ha puesto en marcha al menos en el sector comercio donde prestamos nuestros servicios, permitirá, sino hacer milagros, que el que quiera trabajar tenga las herramientas necesarias para poder incrementar la probabilidad de tomar mejores decisiones.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

TEORIA GENERAL DE OPTIMIZACION

DR. SERGIO FUENTES MAYA

JUNIO -SEPTIEMBRE DE 1977

CAPITULO I

FORMULACION DE PROBLEMAS LINEALES

Uno de los aspectos más importantes de la programación lineal es el relacionado con sus aplicaciones a las diferentes ramas de la ciencia. En general, estas aplicaciones resultan de proponer un modelo de programación lineal a las situaciones problemáticas que se analizan. En algunos casos, la naturaleza misma del problema establece en forma sencilla el correspondiente modelo lineal. Sin embargo, existen otras en donde es necesario reestructurar el planteamiento o modelo original, con el propósito de obtener una estructura lineal. La ventaja de este último enfoque es que podemos usar la exhaustivamente investigada teoría de programación lineal en el análisis del modelo modificado.

Este capítulo se desarrollo como sigue: en primer lugar,se presenta la estructura básica del problema de programación lineal y se analizan algunas formas de obtenerla a partir de otras estructuras lineales. A continuación, se presentan algunos problemas y su planteamiento en términos de programación lineal. En forma paralela a este desarrollo, se motiva el concepto de problema dual asociado a un problema lineal, y se establece su interpretación económica en algunos de los problemas analizados. Asimismo, se presenta el concepto de problemas lineales duales y algunas de sus propiedades analíticas más elementales.

1. Formulación de problemas lineales y sus duales

Un problema lineal consiste en la maximización o minimización de una función lineal de varias variables sujeta a restricciones lineales en estas mismas variables. Una forma particular, a la que cualquier problema lineal puede ser transformado, es la siguiente forma estándar:

$$\text{minimice } c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n$$

sujeto a

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \ldots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \ldots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \quad (P) \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \ldots + a_{mn}x_n &= b_m \\ x_1 \geq 0 \;;\; x_2 \geq 0 \;;\; \ldots \;;\; x_n &\geq 0 \end{aligned}$$

donde los coeficientes a_{ij}, b_i y c_j son números reales, y x_i, $i=1,\ldots,n$ son las variables a determinar.

Una forma compacta y usual de escribir (P) es

$$\begin{aligned} &\text{minimice } cx \\ &Ax = b \\ &x \geq 0 \end{aligned}$$

donde A, es una matriz $m \times n$; c, un vector hilera de n componentes; b, un vector columna de m componentes y x, un vector columna de n variables.

Es conveniente hacer notar que cualquier problema lineal puede reducirse a la forma estándar. Ilustraremos las ideas básicas de esta reducción por medio de ejemplos.

Ejemplo 1. Considere el problema lineal (P)

$$(P)\quad \begin{aligned} &\text{minimice } c_1x_1 + c_2x_2 \\ &a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \leq b_1 \\ &a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \leq b_2 \\ &x_1 \geq 0\ ;\ x_2 \geq 0 \end{aligned} \qquad (P')\quad \begin{aligned} &\text{minimice } c_1x_1 + c_2x_2 \\ &a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + x_3 = b_1 \\ &a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + x_4 = b_2 \\ &x_1 \geq 0;\ x_2 \geq 0;\ x_3 \geq 0;\ x_4 \geq 0. \end{aligned}$$

Es inmediato que (P) es equivalente a (P'), y que éste se encuentra en la forma estándar. Este método de transformar las restricciones de desigualdad en restricciones de igualdad, se denomina método de variables de holgura.

Ejemplo 2. Considere el problema lineal (P)

$$(P)\quad \begin{aligned} &\text{minimice } c_1x_1 + c_2x_2 \\ &a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = b_1 \\ &a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = b_2 \\ &x_1 \geq 0\ ;\ x_2 \text{ no restringida} \end{aligned}$$

Existen esencialmente dos métodos para transformar una variable no restringida en una restringida.

Método a. Sea $x_2 = x_3 - x_4$ donde $x_3 \geq 0$ y $x_4 \geq 0$. En este caso el problema lineal (P) es equivalente a (P'), y éste se encuentra en la forma estándar

$$
\begin{aligned}
&\text{minimice } c_1x_1 + c_2x_3 - c_2x_4 \\
&a_{11}x_1 + a_{12}x_3 - a_{12}x_4 = b_1 \\
(P') \qquad &a_{21}x_1 + a_{22}x_3 - a_{22}x_4 = b_2 \\
&x_1 \geq 0 \; ; \; x_3 \geq 0 \; ; \; x_4 \geq 0
\end{aligned}
$$

Método b. Suponga que $a_{22} \neq 0$. Entonces, podemos despejar x_2 de la segunda ecuación y sustituir su valor en la restante. En este caso el problema lineal (P) es equivalente a (P'), y éste se encuentra, excepto por una constante, en la forma estándar

$$
\begin{aligned}
&\text{minimice } (c_1 - c_2a_{21}/a_{22})x_1 + c_2b_2/a_{22} \\
(P') \qquad &(a_{11} - a_{12}a_{21}/a_{22})x_1 = b_1 - a_{12}/a_{22} \\
&x_1 \geq 0
\end{aligned}
$$

Ejemplo 3. Considere la identidad

$$\text{máximo } \{cx \; ; \; x \in S\} = - \text{ mínimo } \{-cx \; ; \; x \in S\}$$

donde c es un vector hilera de n componentes, x, un vector columna de n componentes; y S, un conjunto en el espacio R^n. Esta identidad permite transformar problemas lineales de maximización en, excepto por el signo, problemas de minimización.

Ejemplo 4. Considere el problema lineal

$$\text{minimice } c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4$$

s.a.

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 &= b_1 \\ a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 &= b_2 \\ a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 &= b_3 \end{aligned} \qquad (P)$$

$$x_2 \geq 0 \ ; \ x_3 \geq 0 \ ; \ x_4 \geq 0$$

En que condiciones el problema lineal (P) es equivalente a la forma estándar (P')?

$$\text{minimice } c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4$$

s.a.

$$\begin{aligned} a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 &= b_2 \\ a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 &= b_3 \end{aligned} \qquad (P')$$

$$x_2 \geq 0 \ ; \ x_3 \geq 0 \ ; \ x_4 \geq 0.$$

Es fácil verificar que si a_{11} es diferente de cero, los problemas (P) y (P') son equivalentes, pues la variable x_1 es no restringida y el coeficiente que acompaña a esta variable en la función objetivo es cero. Por otra parte, si el coeficiente a_{11} es cero, entonces, en general, los problemas (P) y (P') no son equivalentes.

1. PROBLEMA DE LA DIETA

Considere el problema de determinación del menú más económico que satisfaga las necesidades esenciales de nutrición. Suponga que los alimentos disponibles, su costo, el valor nutricional y las necesidades nutricionales diarias que suplementan son:

No.	Alimento	Costo ($)	Calcio (100 mg)	Hierro (1 mg)
1	Leche (lt)	4	12	1
2	Carne (kg)	60	0	26
3	Huevo (kg)	12	3	10
4	Pan (pz)	2	1	2
0	Necesidades diarias		10	12

Formulación:

Si hacemos $x_i (i=1,2,3,4)$ la cantidad de alimento i que se compra, el problema consiste en

$$\text{minimizar } z = 4x_1 + 60x_2 + 12x_3 + 2x_4$$

$$12x_1 + 0x_2 + 3x_3 + x_4 \geq 10$$

$$x_1 + 26x_2 + 10x_3 + 2x_4 \geq 12$$

$$x_1 \geq 0 \; ; \; x_2 \geq 0 \; ; \; x_3 \geq 0 \; ; \; x_4 \geq 0$$

solución óptima:

$$z^* = 300/23 \; ; \; x_1^* = 8/23 \; ; \; x_2^* = x_3^* = 0 \; ; \; x_4^* = 134/23$$

Es interesante el hecho de que, asociado a cualquier problema lineal, existe otro problema del mismo tipo, llamado su dual, que para el problema anterior se construye como sigue:

Considere una industria farmacéutica que produce dos tipos de píldora, una que contiene 100 mg de calcio, y la otra contiene 1 mg de hierro. La industria desea que la persona encargada de seleccionar el menú compre píldoras en lugar de comida para satisfacer sus necesidades nutricionales. Con este propósito, la industria vende cada píldora de calcio y hierro a precios p_1 y p_2 respectivamente. Los precios se seleccionan de tal manera que las píldoras contengan el mismo valor nutricional que la comida y que no excedan el costo de ésta. Por ejemplo, un litro de leche tiene 1200 mg de calcio y 1 mg de hierro. El costo de tener este valor nutricional a base de píldora es $12p_1 + p_2$. Entonces, la industria establece precios p_1 y p_2 tales que $12p_1 + p_2 \leq 4$. De esta manera, la persona que selecciona el menú no tiene objeciones económicas (aunque sí posiblemente de otro tipo, como el gusto, la presentación, etc.) para sustituir la comida por píldoras. Como es natural, la industria tratará de maximizar el producto de sus ventas, ésto es $10p_1 + 12p_2$. Consecuentemente, la industria farmacéutica procede a determinar precios p_1 y p_2 tales que se

$$\text{maximice } w = 10p_1 + 12p_2$$

$$12p_1 + p_2 \leq 4$$

$$26p_2 \leq 60$$

$$3p_1 + 10p_2 \leq 12$$

$$p_1 + 2p_2 \leq 2$$

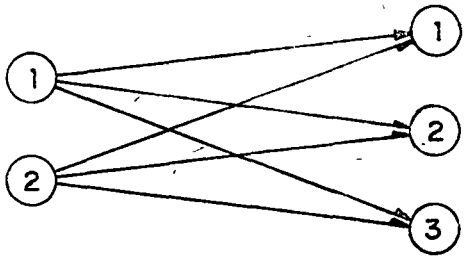
$$p_1 \geq 0 \quad p_2 \geq 0$$

Solución óptima: $w^* = 300/23$; $p_1^* = 6/23$; $p_2^* = 20/23$.

2. PROBLEMA DE TRANSPORTE

La compañía de plásticos KIKO tiene dos fábricas y tres distribuidoras. Las fábricas (1 y 2) pueden producir seis y nueve toneladas de plástico por mes, respectivamente. Las distribuidoras venden tres, seis y cuatro toneladas de plástico por mes respectivamente. El costo de envío de cada tonelada de plásticos de una fábrica i a una distribuidora j es:

i \ j	1	2	3
1	2	1	3
2	1	2	4



La compañía KIKO desea determinar el plan para el envío de plásticos de las fábricas a las distribuidoras a costo mínimo.

Formulación:

Si hacemos x_{ij} (i=1, 2 ; j=1, 2 y 3) el número de toneladas de plástico enviadas de la fábrica i a la distribuidora j, entonces el problema de transporte consiste en

$$\text{minimizar } z = 2x_{11} + x_{12} + 3x_{13} + x_{21} + 2x_{22} + 4x_{23}$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} \leq 6$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} \leq 9$$

$$x_{11} + x_{21} \geq 3$$

$$x_{12} + x_{22} \geq 6$$

$$x_{13} + x_{23} \geq 4$$

$$x_{ij} \geq 0,\ i=1,2\ ;\ j=1, 2, 3.$$

Solución óptima:

$$z^*=25 \; ; \; x_{11}^*=0 \; ; \; x_{12}^*=6 \; ; \; x_{21}^*=3 \; ; \; x_{22}^*=0 \; ; \; x_{23}^*=4 \; ; \; x_{13}^*=0$$

Con el propósito de establecer el correspondiente problema dual asociado al problema anterior, considere la siguiente discusión.

La compañía transportadora PROMEX conoce lo que se pretende en la compañía KIKO, y propone al gerente de ésta, Juan H., el siguiente contrato:

PROMEX comprará los plásticos que se producen en las fábricas 1 y 2 de la compañía KIKO a precios (por tonelada) p_1 y p_2 respectivamente. Se garantiza el transporte de los plásticos a los centros distribuidores 1, 2 y 3, y ahí se venden a la compañía KIKO a precios (por tonelada) q_1, q_2 y q_3 respectivamente. Se garantiza que el aumento en precio por transportar una tonelada de plástico de la fábrica i a la distribuidora j (ésto es, q_j-p_i) es menor que el costo c_{ij} que la compañía KIKO erogaría si lo hiciera por cuenta propia.

En el supuesto que sólo existan consideraciones económicas como las planteadas, el señor Juan H., aceptaría el contrato. Por otra parte, la compañía PROMEX tratará de maximizar sus ganancias satisfaciendo las condiciones del contrato. Esto es, la compañía PROMEX determinará los precios p_1, p_2, q_1, q_2 y q_3 que

$$\text{maximice } w = -6p_1 - 9p_2 + 3q_1 + 6q_2 + 4q_3$$

$$\begin{aligned}
-p_1 \qquad\quad + q_1 \qquad\quad &\leq 2 \\
-p_1 \qquad\quad + q_2 \qquad\quad &\leq 1 \\
-p_1 \qquad\quad + q_3 \qquad\quad &\leq 3 \\
-p_2 + q_1 \qquad\quad &\leq 1 \\
-p_2 \quad + q_2 \qquad\quad &\leq 2 \\
-p_2 \qquad\quad + q_3 \qquad\quad &\leq 4
\end{aligned}$$

$p_i \geq 0$ $i=1, 2$; $q_i \geq 0$, $i=1, 2, 3.$

Solución óptima:

$w^*=25$; $p_1^*=1$; $p_2^*=0$; $q_1^*=1$; $q_2^*=2$; $q_3^*=4$.

3. PROBLEMA DE PRODUCCION

La compañía ATLANTICO recibe un contrato para satisfacer las siguientes ventas trimestrales de pintura.

No. del trimestre	1	2	3	4
Litros de pintura (10^3)	90	160	490	360

La compañía puede producir 300,000 lt por trimestre, excepto en el trimestre número dos en que, debido a vacaciones, reduce su capacidad de producción a 250,000 lt. El costo de producción de cada litro de pintura es $1.50 y se vende a $2.00. La compañía puede almacenar la pintura de un trimestre a otro a un costo de 0.20 $/lt. Por otra parte, la compañía tiene la opción de comprar pintura de un competidor a 2.00 $/lt, si ésto fuera necesario.

La compañía desea determinar un plan de producción, almacenamiento y compra de pintura al competidor que satisfaga los requerimientos del contrato a costo mínimo.

Formulación:

Sea x_i la producción de pintura en el trimestre i (lt.)

z_i la cantidad de pintura comprada en el trimestre i (lt.)

y_i el nivel de inventario al final del trimestre i (lt.).

Entonces el problema consiste en

$$\text{minimizar } 1.5x_1+2z_1+0.2y_1 +....+ 0.2y_3+1.5x_4+2z_4$$

sujeto a

$$\begin{aligned}
x_1+z_1-y_1 &= 90\\
y_1+x_2+z_2-y_2 &= 160\\
y_2+x_3+z_3-y_3 &= 490\\
y_3+x_4+z_4 &= 360\\
x_1 &\leq 300\\
x_2 &\leq 250\\
x_3 &\leq 300\\
x_4 &\leq 300
\end{aligned}$$

$x_i \geq 0$, $y_i \geq 0$, $z_i \geq 0$ para toda i

Solución óptima: $w^* = 1738$

$$x_1^* = 190 \; ; \; x_2^* = 250 \; ; \; x_3^* = 300 \; ; \; x_4^* = 300$$
$$z_1^* = 0 \; ; \; z_2^* = 0 \; ; \; z_3^* = 0 \; ; \; z_4^* = 60$$
$$y_1^* = 100 \; ; \; y_2^* = 190 \; ; \; y_3^* = 0 \; ; \; y_4^* = 0$$

La representación gráfica de las restricciones de este modelo es

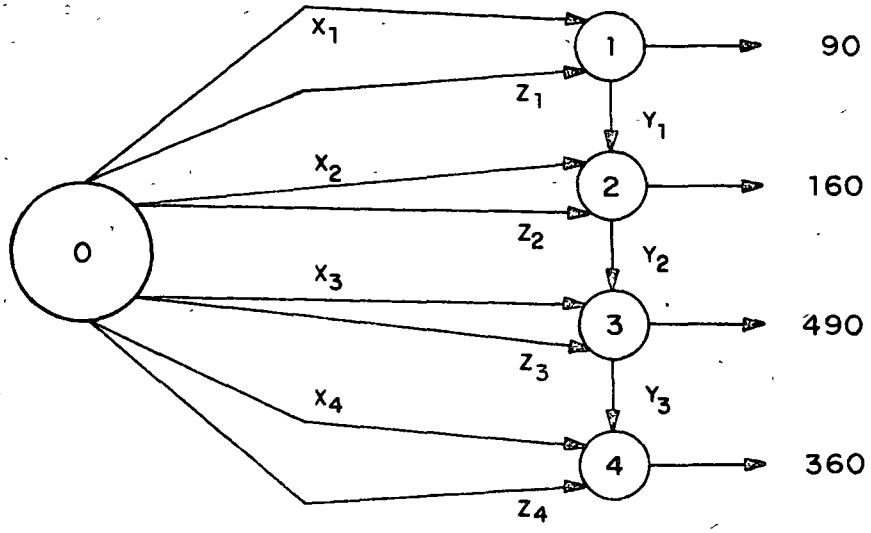


Fig 1 Restricciones del modelo

En este caso podemos construir e interpretar el problema dual asociado al problema anterior como sigue.

El grupo de trabajadores ARGOS solicita a la compañía ATLANTICO llevar a cabo el contrato de pinturas obtenido por esta última, bajo las condiciones siguientes:

El grupo ARGOS alquilará trimestralmente la capacidad de producción de la compañía ATLANTICO a q_i (i=1,2,3,4) pesos por litro. ARGOS se compromete a vender a la compañía ATLANTICO la pintura producida a precios trimestrales de p_i (i=1,2,3,4) pesos por litro. El precio a que ARGOS vende la pintura a la compañía ATLANTICO será menor o igual que el precio de dos pesos por litro ofrecido por el competidor. La diferencia entre precios para trimestres consecutivos es menor o igual que el precio de 0.2 pesos por litro, pues de otra manera podríamos almacenar pintura de un trimestre al otro. Por otra parte, la compañía ATLANTICO tiene la garantía de que en cualquier trimestre, el costo de obtención de un litro de pintura (i.e., $p_i - q_i$ i=1,2,3,4) es menor o igual que el costo de 1.5 pesos por litro incurridos si éste lo produce por cuenta propia.

En los términos anteriores, la compañía ATLANTICO aceptaría la solicitud del grupo ARGOS, y éste trataría de determinar los precios p_i, q_i, i=1,2,3,4, que maximicen su ganancia, i.e.,

maximice $90p_1 + 160p_2 + 490p_3 + 360p_4 - 300q_1 - 250q_2 - 300q_3 - 300q_4$

sujeto a

$$
\begin{aligned}
p_1 - q_1 &\leq 1.5 \\
p_1 &\leq 2.0 \\
-p_1 + p_2 &\leq 0.2 \\
p_2 - q_2 &\leq 1.5 \\
p_2 &\leq 2.0 \\
-p_2 + p_3 &\leq 0.2 \\
p_3 - q_3 &\leq 1.5 \\
p_3 &\leq 2.0 \\
-p_3 + p_4 &\leq 0.2 \\
p_4 - q_4 &\leq 1.5 \\
p_4 &\leq 2.0
\end{aligned}
$$

$q_1 \geq 0$; $q_2 \geq 0$; $q_3 \geq 0$; $q_4 \geq 0$.

La solución óptima de este problema es : $v^* = 1738$

$p_1^* = 1.5$; $p_2^* = 1.7$; $p_3^* = 1.9$; $p_4^* = 2.0$

$q_1^* = 0$; $q_2^* = 0.2$; $q_3^* = 0.4$; $q_4^* = 0.5$.

2. Problemas lineales duales.

Considere los problemas lineales

$$\begin{array}{lll} & \text{minimice } cx & \text{maximice } \lambda b \\ (P) & Ax \geq b & \lambda A \leq c \quad (D) \\ & x \geq 0 & \lambda \geq 0 \end{array}$$

donde A es una matriz mxn; b, un vector columna de m componentes; c, un vector hilera de n componentes; x, un vector columna de n incógnitas; y λ, un vector hilera de m variables. Se dice que estos problemas son problemas lineales duales y se denomina a (D) el problema dual asociado al problema primal (P).

La definición de problemas lineales duales permite determinar el problema dual de un problema lineal cualquiera. Esto se obtiene, básicamente, mediante la transformación del problema lineal original a la forma del problema (P). Por ejemplo, considere la forma estándar

$$\begin{array}{ll} & \text{minimice } cx \\ (P') & Ax = b \\ & x \geq 0 \end{array}$$

Y observe que este problema es equivalente a

$$\begin{array}{l} \text{minimice } cx \\ Ax \geq b \\ -Ax \geq -b \\ x \geq 0 \end{array}$$

cuyo correspondiente problema dual sería

$$\text{maximice } ub - vb$$
$$uA - vA \leq c$$
$$u \geq 0 \quad , \quad v \geq 0$$

Finalmente, si definimos la variable no restringida $\lambda = u-v$, podemos concluir que el dual de (P') es

$$\text{(D')} \qquad \begin{array}{l} \text{maximice } \lambda b \\ \lambda A \leq c \end{array}$$

En general, se cumple que si alguna de las desigualdades del problema primal se cambia a igualdad, el componente correspondiente de λ en el problema dual, será una variable no restringida. Recíprocamente, si alguno de los componentes del vector x en el problema primal es no restringido, la desigualdad correspondiente en el problema dual será igualdad. Estas reglas que aquí se mencionan no son arbitrarias, sino que se desprenden como consecuencia de la definición de los problemas lineales duales.

En el problema primal se dice que el vector x es una solución factible si satisface las restricciones de (P). De manera semejante, el vector λ es una solución factible del problema dual si satisface las restricciones de (D). Al usar estas definiciones podemos establecer una de las propiedades más simples e importantes de los problemas lineales duales.

Teorema 1. Considere los problemas duales (P) y (D). Entonces,

$$\min\{cx \; ; \; Ax \geq b, \; x \geq 0\} \geq \max\{\lambda b \; ; \; \lambda A \leq c, \; \lambda \geq 0\}$$

Prueba. Sean x y λ soluciones factibles de los problemas (P) y (D) respectivamente. Entonces,

$$cx \geq (\lambda A)x = \lambda(Ax) \geq \lambda b$$

que es equivalente al resultado del teorema.

Corolario 1. Sean x^* y λ^* soluciones factibles de los problemas duales (P) y (D) respectivamente. Suponga

$$cx^* = \lambda^* b$$

Entonces, x^* y λ^* son soluciones óptimas de (P) y (D), respectivamente.

Es interesante puntualizar que el resultado recíproco de este corolario es cierto, esto es, si x^* y λ^* son soluciones óptimas de (P) y (D), respectivamente, entonces $cx^* = \lambda^* b$. Sin embargo, la prueba y análisis más detallado de este y otros resultados se efectuarán en el capítulo 4.

A continuación, seguiremos presentando otros problemas cuyo planteamiento queda dentro del marco de programación lineal.

4. PROBLEMA DE CONTRATACION.

La compañía Aeronaves del Pacífico necesita determinar cuántas aeromozas contratar y adiestrar en los próximos seis meses. Las necesidades de la compañía expresadas como horas-vuelo-aeromoza son:

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
8000	9000	7000	10000	9000	11000

El entrenamiento necesario para que una aeromoza dé servicio en un vuelo dura un mes; por lo que cada muchacha debe contratarse por lo menos un mes antes.

El entrenamiento necesita 100 horas de supervisión de aeromoza ya entrenadas, por lo que se dispone 100 horas-vuelo-aeromoza menos, durante un mes por cada aeromoza en entrenamiento. Cada aeromoza entrenada puede trabajar 150 horas en un mes y la compañía áerea tiene 60 aeromozas entrenadas al principio de enero.

Por razones sindicales, si el tiempo máximo disponible de las aeromozas entrenadas excede al requerido por la compañía en el mes (horas-vuelo y supervisión), éstas trabajarán menos de 150 horas y no se despide a nadie. Sin embargo, en cada mes aproximadamente 10% de las aeromozas con experiencia dejan el trabajo por razones de matrimonio u otras. Además, en cada mes, 5% de las personas que se contratan (y terminan su entrenamiento), son rechazadas por varias razones.

Si se consideran los salarios y otros beneficios, cada aeromoza adiestrada cuesta a la compañía $8,000.00 mensuales, y cada aeromoza en entrenamiento, $4,000.00.

La compañía desea determinar el plan de contratación y adiestramiento de aeromozas a costo mínimo.

Formulación:

Sea x_t número de personas contratadas al inicio del mes t

y_t número de aeromozas con entrenamiento al inicio del mes t.

D_t número de horas-vuelo-aeromoza necesarias en el mes t.

En este caso el problema consiste en

$$\text{minimizar } z = 800 \sum_{t=1}^{6} y_t + 4000 \sum_{t=1}^{5} x_t$$

sujeto a

$$y_{t+1} = 0.95x_t + 0.9y_t \qquad t=1,2,\ldots,5$$

$$150y_t \geq D_t + 100x_t \qquad t=1,2,\ldots,6$$

$$y_1 = 60$$

$$x_t \geq 0 \;\; ; \;\; y_{t+1} \geq 0 \qquad t=1,2,\ldots,5.$$

5. PROBLEMA DE INVERSIONES

Un inversionista dispone de $40,000.00 y desea establecer un plan de inversiones que maximice la cantidad de dinero que puede acumular al final de los próximos cinco años.

El inversionista dispone de varias actividades financieras. En la actividad A, cada peso invertido al comienzo de un año produce $ 1.50 (una ganancia de 0.50) dos años más tarde (en el momento preciso para una reinversión). En la actividad B, cada peso invertido al principio de un año le produce $ 1.80 tres años después. Se tienen además dos actividades financieras; C y D, que estarán disponibles solamente una vez en el futuro. Cada peso invertido en C, en el comienzo del segundo año, le produce $ 2.25 cuatro años más tarde. Finalmente, en la actividad D, cada peso invertido al principio del quinto año le produce $ 1.30 un año más tarde.

Formulación:

Sea x_{ij} la cantidad de dinero invertido al principio del año i en la cantidad j (i=1,2,3,4,5) ; (j=A,B,C,).

w_i, la cantidad de dinero que no se invierte al principio del año i. i=1,2,3,4,5.

En este caso se desea maximizar el dinero acumulado al final del quinto año, esto es, se desea

$$\text{maximizar } z = 1.7x_{4A} + 1.8x_{4B} + 2.25x_{2C} + 1.30x_{5D}$$

sujeto a

$$x_{1A} + x_{1B} + w_1 = 40000$$

$$x_{2A} + x_{2B} + x_{2C} + w_2 = w_1$$

$$x_{3A} + x_{3B} + w_3 = w_2 + 1.5x_{1A}$$

$$x_{4A} + w_4 = w_3 + 1.5x_{2A} + 1.8x_{1B}$$

$$x_{5D} = w_4 + w_4 + 1.5x_{3A} + 1.8x_{2B}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i=1,2,3,4,5 \quad j=A,B,C,D.$$

$$w_{ij} \geq 0 \quad i=1,2,3,4.$$

6. PROBLEMA DE REGRESION LINEAL

Un problema interesante en el campo de la estadística es el llamado problema de regresión lineal. A grandes rasgos, éste consiste en determinar la línea recta que mejor representa un conjunto de datos estadísticos como (x_1,y_1) $,\ldots,(x_n,y_n)$. Si la línea recta es dada por la ecuación $y = a + bx$, el propósito es determinar las constantes a y b que proporcionan la mejor representación de los datos de acuerdo a un criterio especificado. Algunos de estos criterios, en que la programación lineal es útil, son:

a minimice $\sum_{i=1}^{n} |y_i - a - bx_i|$.

b minimice { máximo $|y_i - a - bx_i|$; i=1,2,3,..., n}.

En cada uno de estos criterios se minimizan las desviaciones entre los valores observados y aquellos que son calculados por medio de la ecuación de la recta.

Una forma de reformular el problema dado por el criterio a es como sigue. Observe que éste es equivalente a

$$\text{minimizar} \sum_{i=1}^{n} z_i$$

$$z_i \geq |y_i - a - b_i x_i| \qquad i=1,\ldots,n$$

$$z_i \geq 0 \qquad i=1,\ldots,n$$

Asimismo, usando la definición de valor absoluto, se tiene que éste problema es equivalente al problema lineal

$$\text{minimizar} \quad \sum_{i=1}^{n} z_i$$

$$z_i \geq y_i - a - bx_i \qquad i=1,\ldots,n$$

$$z_i \geq -y_i + a + bx_i \qquad i=1,\ldots,n$$

$$z_i \geq 0 \qquad i=1,\ldots,n$$

Finalmente, considere el problema de regresión de acuerdo al criterio b y observe que éste es equivalente a

$$\text{minimizar } z$$

$$z \geq |y_i - a - bx_i| \qquad i=1,\ldots,n$$

De donde podemos concluir que el problema de regresión es equivalente al problema lineal

$$\text{minimizar } z$$

$$z \geq y_i - a - bx_i \qquad i=1,\ldots,n$$

$$z \geq -y_i + a + bx_i \qquad i=1,\ldots,n$$

$$z \geq 0$$

Las manipulaciones anteriores muestran cómo, en algunos casos, es posible reformular problemas no lineales en el marco de la programación lineal.

7. PROBLEMA LINEAL CON COSTOS CONVEXOS

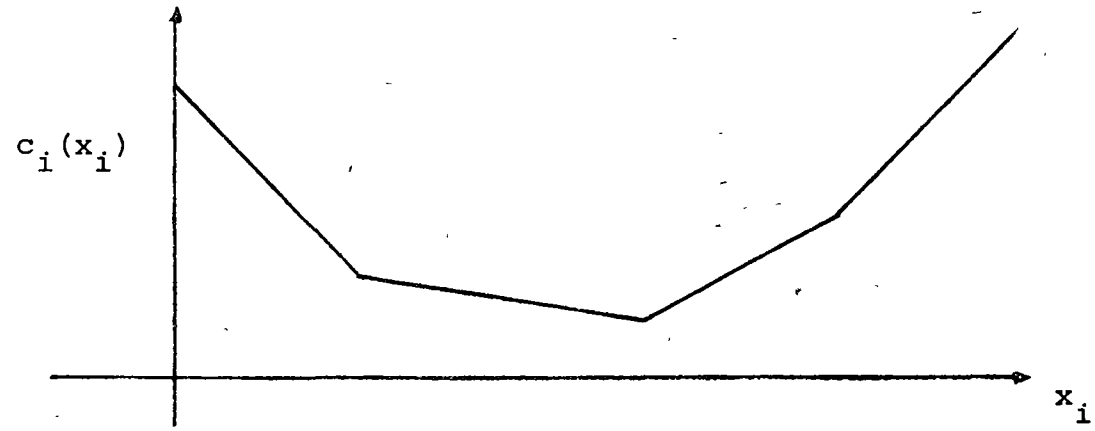
En una variedad de problemas de producción e inventario es común llegar a considerar modelos de la forma

$$\text{minimice} \quad \sum_{i=1}^{n} c_i(x_i)$$

$$Ax = b$$

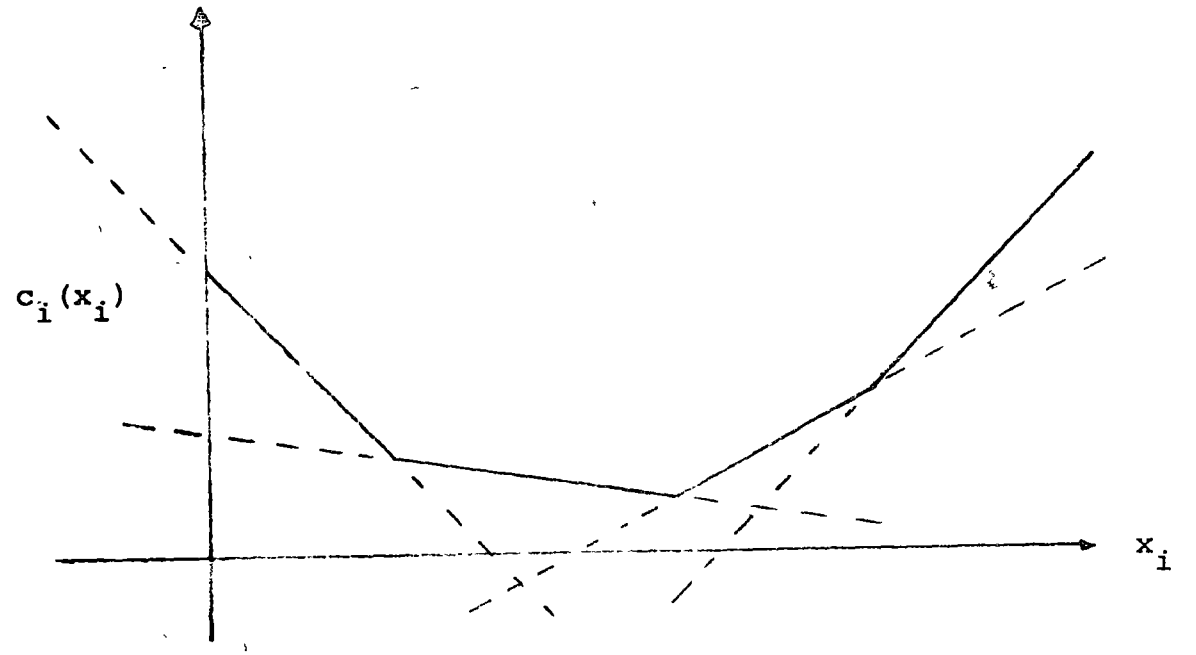
$$x \geq 0$$

donde A es una matriz mxn; b vector columna de m componentes; y $c_i(x_i)$, i=1,...,n, funciones convexas que son lineales en intervalos. La forma característica de cada $c_i(x_i)$ es



donde el número de intervalos en que la función es lineal es finito. Formule este problema como uno de programación lineal.

Primero se observa que cada función convexa $c_i(x_i)$ puede verse como el envolvente formado por varias funciones lineales, esto es,



Sean $a_{ij} + b_{ij}x_i$, $j=1,\ldots,p_i$ las ecuaciones de las lineas rectas que forman la función convexa $c_i(x_i)$. Entonces, para cada x_i el valor de la función $c_i(x_i)$ es dado por

$$c_i(x_i) = \max\{a_{ij} + b_{ij}x_i,\ j=1,\ldots,p_i\}$$

Usando esta equivalencia es sencillo concluir que el problema original es equivalente a

$$\text{minimice} \sum_{i=1}^{n} y_i$$

$$y_i \geq a_{ij} + b_{ij}\, x_j \quad i=1,\ldots,n;\ j=1,\ldots,p_i$$

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

que es un problema de programación lineal.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

INVERSION OPTIMA DE SERVICIOS DE INGENIERIA

Dr. Emilio Rosenblueth

Julio 1977

OPTIMUM EXPENDITURES ON STRUCTURAL ENGINEERING SERVICES

Emilio Rosenblueth and Humberto Contreras

Instituto de Ingeniería, Univ. Nacional Autónoma de México

Introduction

Production of optimum results is often equated to rational behavior. Yet human behavior is consistent with satisficing rather than with optimizing in this sense (1): we seem to aim at suboptimal utilities. This does not imply irrationality; we are truly rational when we optimize the combination of results and the process of arriving at results. The issue is crucial in design of large systems in which process overweighs results, particularly since in rapidly evolving environments optimal results do not remain remotely so for long (2,3).

In some structural-design problems we may ignore environment evolution and treat significant variables as linear. This simplifies optimizing overall policies including the resources to be allotted to engineering services. The problem has been dealt with for housing complexes (4) assuming that failure can occur only under earthquake and that the probability distribution of maximum structural response over several years is extreme type II. Some conclusions are paradoxical. The question is reexamined here under more realistic hypotheses.

Review of previous work

This summarizes Reference 4. Consider N nominally identical structures. Adopt $Z = C + D$ as objective function to be minimized; C and D = expected present values of, respectively, initial cost (including engineering services) and losses due to failure. Assume that, in the neighborhood of optimum,

$$C = (C_1 + c_x \hat{X})(M + k) \qquad (1)$$

$M = [1 + (N-1)a](1 + b/k_d)$; $\hat{X}$ = nominal capacity of structure to resist lateral force, divided by gravity force, = base shear coefficient; a, b, C_1, and c_x = constants, $k = K/(C_1 + c_x\hat{X}) = k_a + k_d + k_r + k_s N$; K = cost of engineering services;

k_a, k_d, k_r, and k_sN = respectively, portions of k assigned to analysis, design, revision, and supervision of the group of buildings, and so Kk_s/k = cost of supervising one building. The form of Equation 1 comes from the following considerations.

The direct cost of one building, $(C_1 + c_x\hat{X})(1 + b/k_d)$, consists of, 1, $C_1 + c_x\hat{X}$ = minimum expected initial construction cost if design incorporated all conceivable refinements, and 2, this quantity times b/k_d; i e, the increment in cost due to design simplifications is taken inversely proportional to the amount spent in design.

Factor $1 + (N-1)a$ accounts for dependence of initial construction cost on number of structures. Making $a < 1$ we recognize a reduction in cost per structure as N increases, due to use of more efficient construction methods.

k, k_a, k_d, k_r, and k_sN are costs of structural engineering services as fractions of the direct cost that the group of structures would have without economies of scale nor design simplifications. To express these quantities as fractions of actual direct cost we multiply by N/M except the amount for supervision. We get Nk/M, Nk_i/M, $i = a, d, r, s$. To the direct cost we add that of structural engineering services, K.

To find the optimum k_d we solve $\partial C/\partial k_d = 0$ and obtain

$$k_d = \{[1 + (N-1)a]b\}^{1/2} \tag{2}$$

For $N >> 1$, k_d grows roughly in proportion to $N^{1/2}$.

Given $\hat{X}$ we compute the optimum k_a, k_r, and k_s subject to $k_a + k_r + k_sN = k - k_d$. Assume that effects of deficiency in each kind of service are equivalent to multiplying structural capacity by an independent random function. Then

$$1 + V_e^2(X) = [1 + V_a^2(X)][1 + V_r^2(X)][1 + V_s^2(X)] \tag{3}$$

V = coefficient of variation and subscript e refers to errors. Assume also that

$$1 + V_i^2(X) = g_i \exp[k_i''(k_i - k_i')^{-\varepsilon}], \quad i = a,r,s;\ k_i > k_i' \tag{4}$$

g_i, k_i', k_i'', and ε = constants and $k_a' = k_r' = 0$. We then solve for each k_i in terms of k. Substituting Equation 4 into 3:

$$1 + V_e^2(X) = g_a g_r g_s \exp[\zeta^{1+\varepsilon}(k - k_d - k_s'N)^{-\varepsilon}] \tag{5}$$

$\zeta = \zeta_a + \zeta_r + N^{\varepsilon/(1+\varepsilon)}$, ζ_s, $\zeta_i = k_i''^{1/(1+\varepsilon)}$, $i = a,r,s$.

To compute k_o = optimum k we idealize seismic events as a generalized Poisson process. Then for a single structure (5) the expected present value of the loss due to a single failure is

$$D_1 = E\int_0^\infty A\lambda_s e^{-(\gamma + \lambda_s)t}\, dt \tag{6}$$

$E(\cdot)$ = expectation, A = loss in case of failure, $\lambda_s = \lambda_s(X)$ = exceedance rate of X, and γ = discount factor. We take $A = A_1 + C$, A_1 = direct loss due to collapse plus a term accounting for losses due to damage.

We distinguish among random variables according to their time correlation by grouping them into:

1. Disturbance variables: statistical fluctuations associated with disturbance; uncorrelated from one earthquake to another; e g, ratio of spectral ordinate to its expected value for given intensity (however defined).
2. Structure variables: constant for given structure; uncorrelated from one structure to another; e g, human errors in structural engineering services, statistical fluctuations in structural properties.
3. Professional variables: constant until updated with basis on progress in state of the art or in assessment of seismicity or of structural capacity; these variables reflect professional uncertainty.

$E_i(\cdot)$ and $V_i(\cdot)$ will denote expectation and coefficient of variation with respect to variables in the ith group, an overbar will denote $E(\cdot) = E_1E_2E_3(\cdot)$, and $V(\cdot)$ = coefficient of variation with respect to all the random variables.

If $\overline{A} = E_3A$ is time independent, Equation 6 becomes $D_1 = \overline{A}E_3\mu_s$, $\mu_s = E_2\left[E_1\Lambda_s/(1 + E_1\Lambda_s)\right]$, $\Lambda_s = \lambda_s/\gamma$. If the structure is systematically repaired and rebuilt according to its original design, we get

$$D = \overline{A}E_3 \sum_{n=1}^{\infty} \mu_s^n = \overline{A\delta}_s \tag{7}$$

$\delta_s = \mu_s/(1 - \mu_s)$. Using second-moment approximations in the Appendix we find, when $\overline{\Lambda}V_2(\Lambda) << 1$

$$\overline{\delta} \doteq \Lambda\{1 - \frac{\overline{\Lambda}V_2(\Lambda)}{1 + \overline{\Lambda}}\left[1 + \frac{V_3^2(\Lambda)}{(1 + \overline{\Lambda})^2}\right]\} \tag{8}$$

$\doteq$ means "equal to, save for higher-order terms". (The exact δ for lognormally distributed Λ is available graphically (5).)

The crude approximation $\overline{\delta} \doteq \overline{\Lambda}$, valid when $\overline{\Lambda}V_2(\Lambda)$ is very small, turns Equation 7 into

$$D \doteq \overline{A\Lambda} \tag{9}$$

This is used in Reference 4 together with the assumption that

$$\lambda_s(x) = \alpha x^{-r} \tag{10}$$

α and r = constants. (If we assign X and γ lognormal distributions and r is deterministic, then $\overline{\Lambda} = (\overline{\alpha}/\overline{\gamma})\overline{x}^{-r}\left[1 + V^2(X)\right]^{r(r+1)/2}$.) Also that

$$E_2(X) = \hat{X}/\left[1 + V_e(X)\right] \tag{11}$$

and that statistical fluctuations and human errors are independent, so $1 + V_2^2(X) = [1 + V_e^2(X)][1 + V_2'^2(X)]$, $V_2'(X)$ = coefficient of variation due to second-group variables excluding human error, Solving $\partial Z/\partial k = 0$, k_o was computed and hence k_i, $i = a,r,s$, assuming $\hat{X}$ fixed, say by a building code.

To find k_o we write Z as $G|\Gamma(k)|$; we choose Γ so that $G(\Gamma)$ does not differ much from being quadratic in the neighborhood of $\Gamma_o = \Gamma(k_o)$. Appropriate functions include $\Gamma = \ln(k - k_d - k_s N)$ and $a_0 + a_1 k^{-n}$ in which we take a_0, a_1, and n locally as constant. We choose Γ_1, Γ_2, Γ_3 equally spaced. We solve $\partial Z/\partial \Gamma = 0$ assuming that Z is quadratic in Γ. We choose Γ_4 close to this solution but equally spaced with two of the first three values. Then we iterate.

When the designer may choose $\hat{X}$ we find its optimum solving $\partial Z/\partial \hat{X} = 0$ with fixed k. We get the r+1 root of $\hat{X}$. This gives a rapid iterative procedure to get $\hat{X}$. We alternate cycles with those for obtaining k_o given $\hat{X}$.

Numerical example of first problem

Based on a limited survey among contractors and structurists and data in Reference 6, relations were established between k_i and $V_i(X)$, $i = a, r, s$. Curves following Equation 4 were fitted (Figure 1). With parameters in Table 1, optimum k_i's and $\hat{X}$ were found (Figures 2 and 3). That k_a, k_d, and k_r should vary roughly as $N^{1/2}$ for $N > 5$ has met with skepticism. Many feel that slower variation should hold for large N.

Table 1. Assumed values of parameters, problem 1

Parameter	Value
$\bar{\alpha}$, r	10^{-6} yr^{-1}, 3
$\bar{\gamma}$	5×10^{-2} yr^{-1}
c_y/C_1, A/C	0.2, 3
a, b	0.8, 2.5×10^{-5}
g_a, g_r, g_s	1, 0.999, 1
k_s'	2.3×10^{-2}
k_a'', k_r'', k_s''	200×10^{-6}, 22×10^{-6}, 300×10^{-6}

Formulation of new problem

We now modify several assumptions: 1 we recognize that a structure may fail under gravity load as well as under earthquake; 2 we recognize that live load is a stochastic process; failure costs and failure probabilities depend on this load; 3 we use different discount rates for injuries and life losses, γ_ℓ, and for material losses, $\gamma_d > \gamma_\ell$; and 4 we adopt

$$\lambda_s(X) = \alpha_s e^{-\beta_s X} \qquad (12)$$

for exceedance rate, with α_s and β_s = parameters depending on total load. Figure 4 compares Equations 10 and 12. They are respectively more appropriate for large and small exceedance rates (7). Our interest lies more in small rates. For simplicity we will adopt Equation 12 throughout.

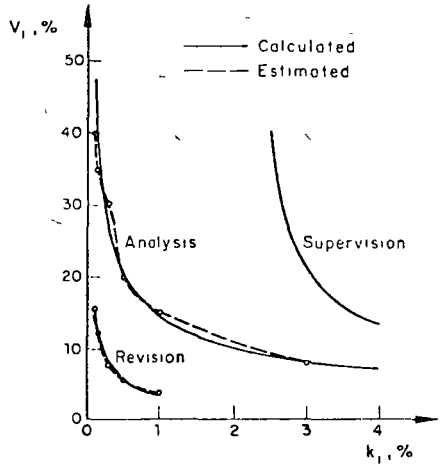


Figure 1. Coefficients of variation as functions of k_I (4)

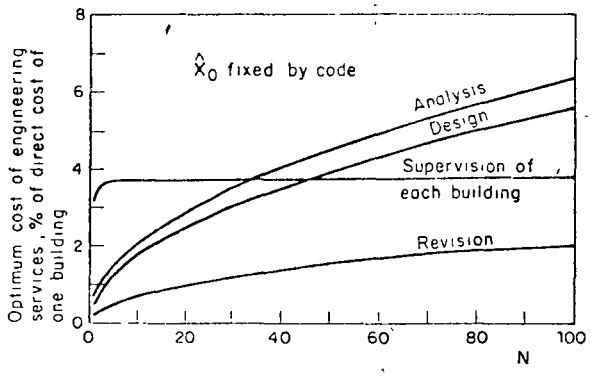


Figure 2. Optimum expeditures on engineering services, problem 1 (4)

Gravity loads W will be modeled as the sum of permanent (dead plus furniture) loads W_d and variable (due to people) loads W_ℓ. W_d will be assigned gaussian distribution. W_ℓ will be taken to occur as a step process (Figure 5) with statistical independence among ordinates, exceedance probability

$$F_\ell(w) = \alpha_\ell e^{-\beta_\ell w}, \; w > 0; \; F_\ell(0) = 1 \qquad (13)$$

at any instant, and changes in load according to a Poisson process of rate λ. The vertical force on the structure at any

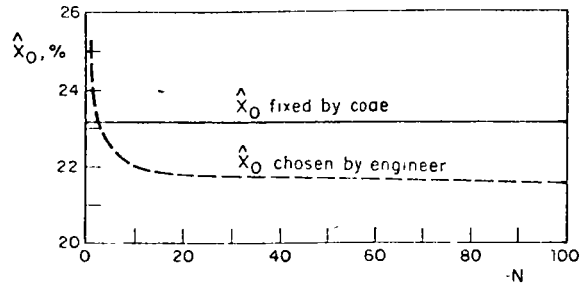


Figure 3. Optimum base shear coefficient, problem 1 (4)

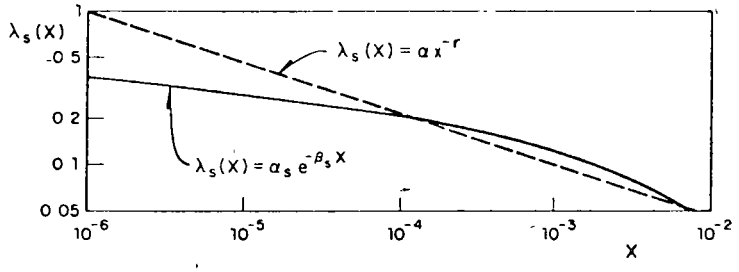


Figure 4. Exceedance rates

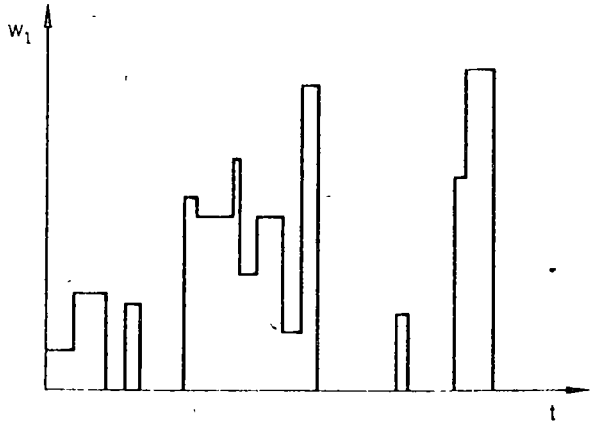


Figure 5. Live load variations

instant is $W' = W_d + W'_\ell$, $W'_\ell = JW_\ell$, J = dynamic factor due to people's activities. Assume that during each live-load step J reaches a fixed value j. For given structural resistance y the reliability function under gravity forces is $P_{W'}(y) \exp\left[-\lambda_g(y)t\right]$, $\lambda_g(y) = \lambda F_\ell\left[(y - W_d)/j\right]$. The loss in case of failure under dead load is A_d, which is time independent. Under gravity force it will be taken as $A_d + \ell W_\ell$ with ℓ = constant.

J is assumed equal to 1 during an earthquake. The reliability function relative to failure under earthquake is $R_s(t) = \exp\left[-\lambda_s(X)t\right]$. For illustration we assume that spectral acceleration is period independent in the range of interest. Then α_s and β_s are independent of W while X is proportional to W^{-1}. The loss in case of failure is again $A_d + \ell W_\ell$.

We will take initial cost as

$$C = (C_1 + c_x\hat{X} + c_y\hat{Y})(M + k) \tag{14}$$

c_y = constant and $\hat{Y}$ nominal capacity under vertical loads. A_d is now a linear function of $\hat{X}$ and $\hat{Y}$. Assume that Equation 11 holds, that $V_i(Y) = V_i(X)$, i = a, r, s, e, and that

$$E_2(Y) = \frac{\hat{Y}}{1 + V_e^2(Y)} \tag{15}$$

The difference in form with Equation 11 is justified in view of the extreme sensitivity of earthquake resistance to small errors. We now write $D = D_d + D_\ell + D_s$, where

$$D_d = \overline{A}_d P_y(W_d)/F_y(W_d) \cong \overline{A}_d P_y(W_d) \tag{16}$$

$F_y(W_d)$ in the first expression comes from the conceivable sequence of failures under dead load. It is not retained because it is always close to 1. Proceeding as in the first problem we find

$$D_\ell \cong \overline{A}_d\overline{\delta}_{gd} + E_3\,\frac{\ell E_2\left[(Y - W_d)\Lambda_{g\ell}/j(1 + \Lambda_{g\ell})\right]}{1 - \mu_{g\ell}} \tag{17}$$

$$D_s = \overline{A}_d\overline{\delta}_{sd} + E_3\,\frac{\ell E_2\left[W_\ell\Lambda_{s\ell}/(1 + \Lambda_{s\ell})\right]}{1 - \mu_{s\ell}} \tag{18}$$

subscripts d, g, ℓ, and s refer respectively to use of γ_d, λ_g, γ_ℓ, and λ_s. (The second term in Equation 18 should really recognize that $jW_\ell < (Y - W_d)$ and that X depends on $Y - W_d$. These refinements are unimportant and partly cancel each other.)

Again iteratively we find the optimum k_i's and, if the designer may choose, the optimum $\hat{X}$ and $\hat{Y}$.

Numerical example of second problem

The example of the first problem showed that there is little difference in the optimum k_i's whether the designer is free to choose $\hat{X}$ or not. Accordingly we will assume that $\hat{X}$ and $\hat{Y}$ are fixed. Using the parameters in Table 2 we find the results in Figure 6. The optimum k_d varies much as in the first problem, for we have not changed the assumption about the cost of design simplifications; k_a and k_r vary slightly more slowly than $N^{1/2}$; and k_s is almost independent of N.

Table 2. Assumed values of parameters, problem 2

Parameter	Value
α_s, β_s	2.9×10^{-2}, 27.6
α_ℓ, β_ℓ	1, 6×10^{-3}
γ_d, γ_ℓ	5×10^{-2} yr^{-1}, 2×10^{-2} yr^{-1}
$\overline{c_1}/\overline{\ell}$	0.28 kg/m^2
c_x/c_1	0.15

Other parameters as in Table 1

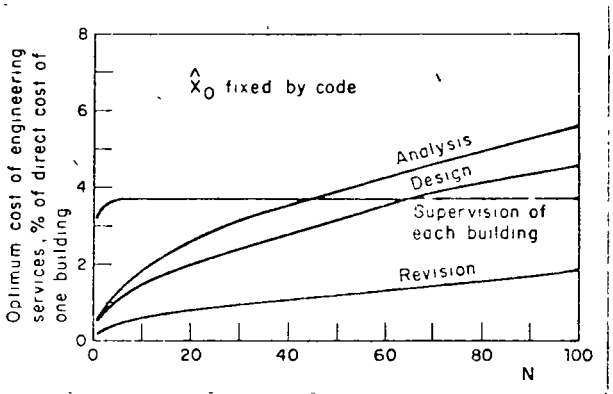


Figure 6. Optimum expeditures on engineering services, problem 2

Summary and conclusions

True rational behavior optimizes not only results but their combination with the process to arrive at them. In engineering problems we must therefore decide what resources to assign to engineering services. In structural design it is reasonable to make some simplifying assumptions, including linearization of certain variables, to facilitate arriving at a solution. This is done here for two problems concerning the dependence of optimum cost of engineering services on the number N of nominally identical buildings.

In the first problem we assume that the weight of a building including its contents is constant, that the structure can fail only under seisms, and that the probability distribution of maximum structural response over several years is extreme type II. Paradoxically we find that for N > 5 total optimum

expenditures in analysis, design, and revision vary nearly as $N^{1/2}$. The optimum cost of supervision per building decreases slightly for $N \leq 5$ and is almost constant thereafter.

In the second problem we recognize the possibility of failure under gravity loads, we take live load as a stochastic variable affecting failure costs and failure probabilities, the discount rate depends on the nature of the losses in case of failure, and the probability distribution of maximum structural seismic response is extreme type I, which is more realistic for small exceedance rates. The optimum expenditure on design is found to vary much as in the first problem. The optimum expenditure on supervision is almost independent of N, while those on analysis and revision grow slightly more slowly than $N^{1/2}$, so the paradox subsists.

Appendix. Approximate probability moments(8)

Let Y be a well behaved function of random variable X. Replace the probability density function of X with two concentrations: P_+ at x_+ and P_- at x_-. The choice $P_\pm = \{1 \mp [1 - (1 - \nu_X^2/4)^{-1}]^{1/2}\}/2$, $x_\pm = \overline{X} \pm \sigma_X (P_\mp/P_+)^{1/2}$ permits obtaining $\overline{Y}$ to second-order approximation and σ_Y and ν_Y to first order. Here σ^2 = variance, ν = skewness coefficient, and the sign preceding the brackets in the expression for P_+ is that of $-\nu_X$. For $|\nu_X| << 1$, $P_+ \doteq 1/2 \mp \nu_X/4$.

When $\nu_X = 0$, then $P_+ = 1/2$, $x_\pm = \overline{X} \pm \sigma_X$, and so with $y_\pm = Y(x_\pm)$, $\overline{Y} \doteq (y_+ + y_-)/2$, $\sigma_Y \doteq |y_+ - y_-|/2$, $V_Y \doteq |y_+ - y_-|/|y_+ + y_-|$.

Now let $Y = Y(\{X_i\})$, $i = 1,2, \ldots, n$, and the X_i's be uncorrelated. Then $\overline{Y}/y \doteq \prod_{i=1}^{n} y_i/y$, $1 + V_Y^2 \doteq \prod_{i=1}^{n}(1 - V_i^2)$, $y = Y(\{\overline{X}\})$; y_i and V_i are computed respectively as $\overline{Y}$ and V_Y when $Y = Y(X)$ assuming that X_i is the only random variable and the other X's equal their expectations.

References

1. Simon, H A (1957) Models of Man. John Wiley & Sons, Inc, New York.

2. Schon, D (1971) Beyond the Stable State. Random House, Inc, New York

3. Ackoff, R L (1974) Redesigning the Future. John Wiley & Sons, Inc, New York

4. Rosenblueth, E (1976) Montos Optimos de los Servicios de Ingeniería Estructural para Conjuntos Habitacionales en Zona Sísmica. Ingeniería Sísmica, 14: 25-58

5. Rosenblueth, E (1976) Optimum Design for Infrequent Disturbances. Proc ASCE, 102, ST9: 1807-1825

6. Lind, N C (1976) Approximate Analysis and Economic Structures. Proc ASCE, 102, ST6: 1177-1196

7. Joint-Committee on Structural Safety CEB-CECM-CIB-FIP-IABSE-RILEM (1976) Basic Notes on Actions. Third Draft, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon

8. Rosenblueth, E (1975) Point Estimates for Probability Moments. Proc National Academy of Sciences, 72, 10: 3812-3814

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

INVERSION OPTIMA DE SERVICIOS DE INGENIERIA

Dr. Emilio Rosenblueth

Julio 1977

OPTIMUM EXPENDITURES ON STRUCTURAL ENGINEERING SERVICES

Emilio Rosenblueth and Humberto Contreras

Instituto de Ingeniería, Univ. Nacional Autónoma de México

Introduction

Production of optimum results is often equated to rational behavior. Yet human behavior is consistent with satisficing rather than with optimizing in this sense (1): we seem to aim at suboptimal utilities. This does not imply irrationality; we are truly rational when we optimize the combination of results and the process of arriving at results. The issue is crucial in design of large systems in which process overweighs results, particularly since in rapidly evolving environments optimal results do not remain remotely so for long (2,3).

In some structural-design problems we may ignore environment evolution and treat significant variables as linear. This simplifies optimizing overall policies including the resources to be allotted to engineering services. The problem has been dealt with for housing complexes (4) assuming that failure can occur only under earthquake and that the probability distribution of maximum structural response over several years is extreme type II. Some conclusions are paradoxical. The question is reexamined here under more realistic hypotheses.

Review of previous work

This summarizes Reference 4. Consider N nominally identical structures. Adopt $Z = C + D$ as objective function to be minimized; C and D = expected present values of, respectively, initial cost (including engineering services) and losses due to failure. Assume that, in the neighborhood of optimum,

$$C = (C_1 + c_x\hat{X})(M + k) \qquad (1)$$

$M = [1 + (N-1)a](1 + b/k_d)$; $\hat{X}$ = nominal capacity of structure to resist lateral force, divided by gravity force, = base shear coefficient; a, b, C_1, and c_x = constants, $k = K/(C_1 + c_x\hat{X}) = k_a + k_d + k_r + k_sN$; K = cost of engineering services;

k_a, k_d, k_r, and k_sN = respectively, portions of k assigned to analysis, design, revision, and supervision of the group of buildings, and so Kk_s/k = cost of supervising one building. The form of Equation 1 comes from the following considerations.

The direct cost of one building, $(C_1 + c_x\hat{X})(1 + b/k_d)$, consists of, 1, $C_1 + c_x\hat{X}$ = minimum expected initial construction cost if design incorporated all conceivable refinements, and 2, this quantity times b/k_d; i e, the increment in cost due to design simplifications is taken inversely proportional to the amount spent in design.

Factor $1 + (N-1)a$ accounts for dependence of initial construction cost on number of structures. Making $a < 1$ we recognize a reduction in cost per structure as N increases, due to use of more efficient construction methods.

k, k_a, k_d, k_r, and k_sN are costs of structural engineering services as fractions of the direct cost that the group of structures would have without economies of scale nor design simplifications. To express these quantities as fractions of actual direct cost we multiply by N/M except the amount for supervision. We get Nk/M, Nk_i/M, $i = a, d, r, s$. To the direct cost we add that of structural engineering services, K.

To find the optimum k_d we solve $\partial C/\partial k_d = 0$ and obtain

$$k_d = \{[1 + (N-1)a]b\}^{1/2} \tag{2}$$

For $N \gg 1$, k_d grows roughly in proportion to $N^{1/2}$.

Given $\hat{X}$ we compute the optimum k_a, k_r, and k_s subject to $k_a + k_r + k_sN = k - k_d$. Assume that effects of deficiency in each kind of service are equivalent to multiplying structural capacity by an independent random function. Then

$$1 + V_e^2(X) = [1 + V_a^2(X)][1 + V_r^2(X)][1 + V_s^2(X)] \tag{3}$$

V = coefficient of variation and subscript e refers to errors. Assume also that

$$1 + V_i^2(X) = g_i \exp[k_i''(k_i - k_i')^{-\varepsilon}], \quad i = a,r,s;\ k_i > k_i' \tag{4}$$

g_i, k_i', k_i'', and ε = constants and $k_a' = k_r' = 0$. We then solve for each k_i in terms of k. Substituting Equation 4 into 3:

$$1 + V_e^2(X) = g_a g_r g_s \exp\left[\zeta^{1+\varepsilon}(k - k_d - k_s'N)^{-\varepsilon}\right] \tag{5}$$

$\zeta = \zeta_a + \zeta_r + N^{\varepsilon/(1+\varepsilon)}$, ζ_s, $\zeta_i = k_i''^{1/(1+\varepsilon)}$, $i = a,r,s$.

To compute k_o = optimum k we idealize seismic events as a generalized Poisson process. Then for a single structure (5) the expected present value of the loss due to a single failure is

$$D_1 = E\int_0^\infty A\lambda_s e^{-(\gamma + \lambda_s)t}\, dt \tag{6}$$

$E(\cdot)$ = expectation, A = loss in case of failure, $\lambda_s = \lambda_s(X)$ = exceedance rate of X, and γ = discount factor. We take $A = A_1 + C$, A_1 = direct loss due to collapse plus a term accounting for losses due to damage.

We distinguish among random variables according to their time correlation by grouping them into:

1. Disturbance variables: statistical fluctuations associated with disturbance; uncorrelated from one earthquake to another; e g, ratio of spectral ordinate to its expected value for given intensity (however defined).
2. Structure variables: constant for given structure; uncorrelated from one structure to another; e g, human errors in structural engineering services, statistical fluctuations in structural properties.
3. Professional variables: constant until updated with basis on progress in state of the art or in assessment of seismicity or of structural capacity; these variables reflect professional uncertainty.

$E_i(\cdot)$ and $V_i(\cdot)$ will denote expectation and coefficient of variation with respect to variables in the ith group, an overbar will denote $E(\cdot) = E_1E_2E_3(\cdot)$, and $V(\cdot)$ = coefficient of variation with respect to all the random variables.

If $\overline{A} = E_3A$ is time independent, Equation 6 becomes $D_1 = \overline{A}E_3\mu_s$, $\mu_s = E_2\left[E_1\Lambda_s/(1 + E_1\Lambda_s)\right]$, $\Lambda_s = \lambda_s/\gamma$. If the structure is systematically repaired and rebuilt according to its original design, we get

$$D = \overline{A}E_3 \sum_{n=1}^{\infty} \mu_s^n = \overline{A\delta_s} \tag{7}$$

$\delta_s = \mu_s/(1 - \mu_s)$. Using second-moment approximations in the Appendix we find, when $\overline{\Lambda}V_2(\Lambda) << 1$

$$\overline{\delta} \doteq \Lambda\{1 - \frac{\overline{\Lambda}V_2(\Lambda)}{1 + \overline{\Lambda}}\left[1 + \frac{V_3^2(\Lambda)}{(1 + \overline{\Lambda})^2}\right]\} \tag{8}$$

$\doteq$ means "equal to, save for higher-order terms". (The exact δ for lognormally distributed Λ is available graphically (5).)

The crude approximation $\overline{\delta} \doteq \overline{\Lambda}$, valid when $\overline{\Lambda}V_2(\Lambda)$ is very small, turns Equation 7 into

$$D \doteq \overline{A\Lambda} \tag{9}$$

This is used in Reference 4 together with the assumption that

$$\lambda_s(x) = \alpha x^{-r} \tag{10}$$

α and r = constants. (If we assign X and γ lognormal distributions and r is deterministic, then $\overline{\Lambda} = (\overline{\alpha}/\overline{\gamma})\overline{x}^{-r}\left[1 + V^2(X)\right]^{r(r+1)/2}$.) Also that

$$E_2(X) = \hat{X}/\left[1 + V_e(X)\right] \tag{11}$$

and that statistical fluctuations and human errors are independent, so $1 + V_2^2(X) = [1 + V_e^2(X)][1 + V_2'^2(X)]$, $V_2'(X)$ = coefficient of variation due to second-group variables excluding human error, Solving $\partial Z/\partial k = 0$, k_o was computed and hence k_i, $i = a,r,s$, assuming $\hat{X}$ fixed, say by a building code.

To find k_o we write Z as $G|\Gamma(k)|$; we choose Γ so that $G(\Gamma)$ does not differ much from being quadratic in the neighborhood of $\Gamma_o = \Gamma(k_o)$. Appropriate functions include $\Gamma = \ln(k - k_d - k_s N)$ and $a_0 + a_1 k^{-n}$ in which we take a_0, a_1, and n locally as constant. We choose Γ_1, Γ_2, Γ_3 equally spaced. We solve $\partial Z/\partial \Gamma = 0$ assuming that Z is quadratic in Γ. We choose Γ_4 close to this solution but equally spaced with two of the first three values. Then we iterate.

When the designer may choose $\hat{X}$ we find its optimum solving $\partial Z/\partial \hat{X} = 0$ with fixed k. We get the r+1 root of $\hat{X}$. This gives a rapid iterative procedure to get $\hat{X}$. We alternate cycles with those for obtaining k_o given $\hat{X}$.

Numerical example of first problem

Based on a limited survey among contractors and structurists and data in Reference 6, relations were established between k_i and $V_i(X)$, $i = a, r, s$. Curves following Equation 4 were fitted (Figure 1). With parameters in Table 1, optimum k_i's and $\hat{X}$ were found (Figures 2 and 3). That k_a, k_d, and k_r should vary roughly as $N^{1/2}$ for $N > 5$ has met with skepticism. Many feel that slower variation should hold for large N.

Table 1. Assumed values of parameters, problem 1

Parameter	Value
$\bar{\alpha}$, r	10^{-6} yr^{-1}, 3
$\bar{\gamma}$	5×10^{-2} yr^{-1}
c_y/C_1, A/C	0.2, 3
a, b	0.8, 2.5×10^{-5}
g_a, g_r, g_s	1, 0.999, 1
k_s'	2.3×10^{-2}
k_a'', k_r'', k_s''	200×10^{-6}, 22×10^{-6}, 300×10^{-6}

Formulation of new problem

We now modify several assumptions: 1 we recognize that a structure may fail under gravity load as well as under earthquake; 2 we recognize that live load is a stochastic process; failure costs and failure probabilities depend on this load; 3 we use different discount rates for injuries and life losses, γ_ℓ, and for material losses, $\gamma_d > \gamma_\ell$; and 4 we adopt

$$\lambda_s(X) = \alpha_s e^{-\beta_s X} \qquad (12)$$

for exceedance rate, with α_s and β_s = parameters depending on total load. Figure 4 compares Equations 10 and 12. They are respectively more appropriate for large and small exceedance rates (7). Our interest lies more in small rates. For simplicity we will adopt Equation 12 throughout.

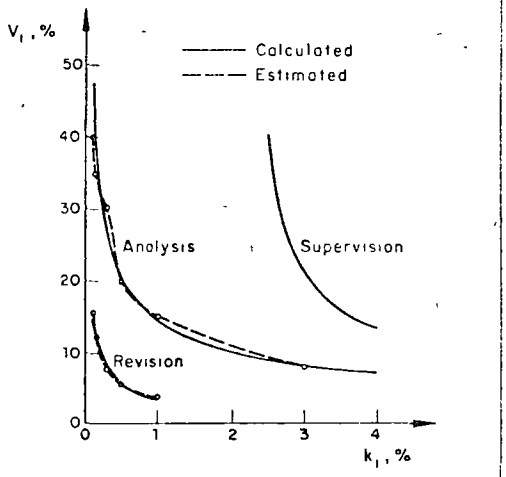


Figure 1. Coefficients of variation as functions of k_I (4)

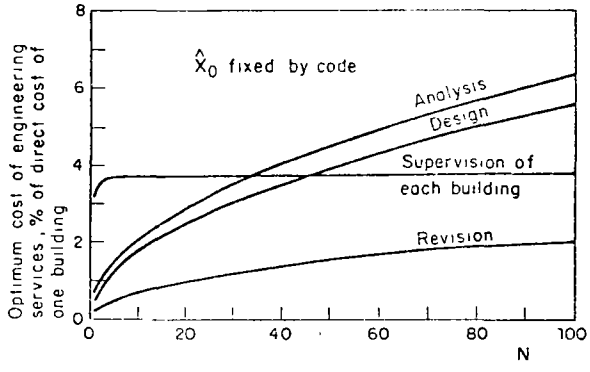


Figure 2. Optimum expeditures on engineering services, problem 1 (4)

Gravity loads W will be modeled as the sum of permanent (dead plus furniture) loads W_d and variable (due to people) loads W_ℓ. W_d will be assigned gaussian distribution. W_ℓ will be taken to occur as a step process (Figure 5) with statistical independence among ordinates, exceedance probability

$$F_\ell(w) = \alpha_\ell e^{-\beta_\ell w}, \; w > 0; \; F_\ell(0) = 1 \qquad (13)$$

at any instant, and changes in load according to a Poisson process of rate λ. The vertical force on the structure at any

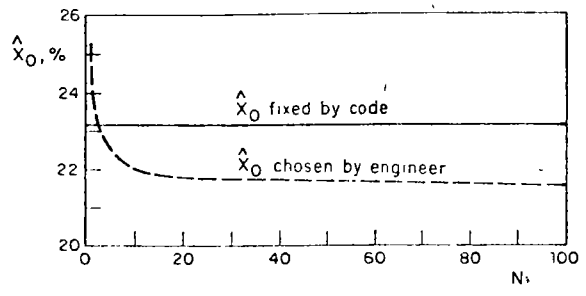


Figure 3. Optimum base shear coefficient, problem 1 (4)

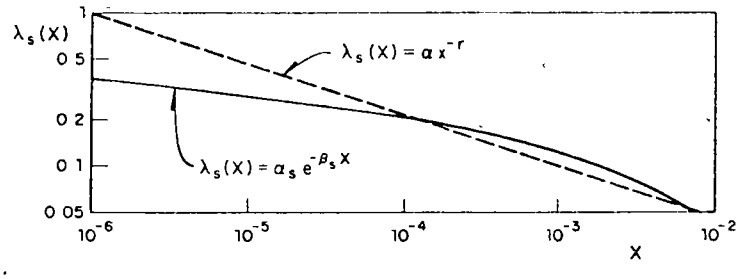


Figure 4. Exceedance rates

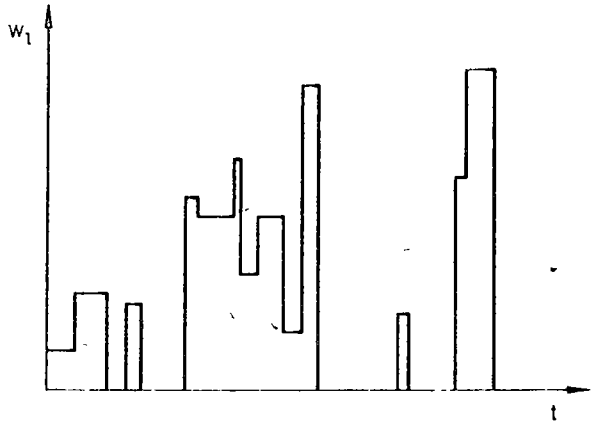


Figure 5. Live load variations

instant is $W' = W_d + W'_\ell$, $W'_\ell = JW_\ell$, J = dynamic factor due to people's activities. Assume that during each live-load step J reaches a fixed value j. For given structural resistance y the reliability function under gravity forces is $P_{W'}(y) \exp\left[-\lambda_g(y)t\right]$, $\lambda_g(y) = \lambda F_\ell\left[(y - W_d)/j\right]$. The loss in case of failure under dead load is A_d, which is time independent. Under gravity force, it will be taken as $A_d + \ell W_\ell$ with ℓ = constant.

J is assumed equal to 1 during an earthquake. The reliability function relative to failure under earthquake is $R_s(t) = \exp\left[-\lambda_s(X)t\right]$. For illustration we assume that spectral acceleration is period independent in the range of interest. Then α_s and β_s are independent of W while X is proportional to W^{-1}. The loss in case of failure is again $A_d + \ell W_\ell$.

We will take initial cost as

$$C = (C_1 + c_x\hat{X} + c_y\hat{Y})(M + k) \tag{14}$$

c_y = constant and $\hat{Y}$ nominal capacity under vertical loads. A_d is now a linear function of $\hat{X}$ and $\hat{Y}$. Assume that Equation 11 holds, that $V_i(Y) = V_i(X)$, i = a, r, s, e, and that

$$E_2(Y) = \frac{\hat{Y}}{1 + V_e^2(Y)} \tag{15}$$

The difference in form with Equation 11 is justified in view of the extreme sensitivity of earthquake resistance to small errors. We now write $D = D_d + D_\ell + D_s$, where

$$D_d = \overline{A}_d P_y(W_d)/F_y(W_d) \cong \overline{A}_d P_y(W_d) \tag{16}$$

$F_y(W_d)$ in the first expression comes from the conceivable sequence of failures under dead load. It is not retained because it is always close to 1. Proceeding as in the first problem we find

$$D_\ell \cong \overline{A}_d\overline{\delta}_{gd} + E_3 \frac{\ell E_2\left[(Y - W_d)\Lambda_{g\ell}/j(1 + \Lambda_{g\ell})\right]}{1 - \mu_{g\ell}} \tag{17}$$

$$D_s = \overline{A}_d\overline{\delta}_{sd} + E_3 \frac{\ell E_2\left[W_\ell\Lambda_{s\ell}/(1 + \Lambda_{s\ell})\right]}{1 - \mu_{s\ell}} \tag{18}$$

subscripts d, g, ℓ, and s refer respectively to use of γ_d, λ_g, γ_ℓ, and λ_s. (The second term in Equation 18 should really recognize that $jW_\ell < (Y - W_d)$ and that X depends on $Y - W_d$. These refinements are unimportant and partly cancel each other.)

Again iteratively we find the optimum k_i's and, if the designer may choose, the optimum $\hat{X}$ and $\hat{Y}$.

Numerical example of second problem

The example of the first problem showed that there is little difference in the optimum k_i's whether the designer is free to choose $\hat{X}$ or not. Accordingly we will assume that $\hat{X}$ and $\hat{Y}$ are fixed. Using the parameters in Table 2 we find the results in Figure 6. The optimum k_d varies much as in the first problem, for we have not changed the assumption about the cost of design simplifications; k_a and k_r vary slightly more slowly than $N^{1/2}$; and k_s is almost independent of N.

Table 2. Assumed values of parameters, problem 2

Parameter	Value
α_s, β_s	2.9×10^{-2}, 27.6
α_ℓ, β_ℓ	1, 6×10^{-3}
γ_d, γ_ℓ	5×10^{-2} yr^{-1}, 2×10^{-2} yr^{-1}
$\overline{c_1}/\overline{\ell}$	0.28 kg/m^2
c_x/c_1	0.15

Other parameters as in Table 1

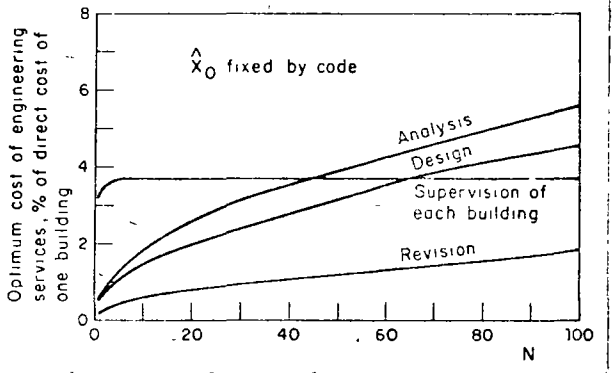


Figure 6. Optimum expeditures on engineering services, problem 2

Summary and conclusions

True rational behavior optimizes not only results but their combination with the process to arrive at them. In engineering problems we must therefore decide what resources to assign to engineering services. In structural design it is reasonable to make some simplifying assumptions, including linearization of certain variables, to facilitate arriving at a solution. This is done here for two problems concerning the dependence of optimum cost of engineering services on the number N of nominally identical buildings.

In the first problem we assume that the weight of a building including its contents is constant, that the structure can fail only under seisms, and that the probability distribution of maximum structural response over several years is extreme type II. Paradoxically we find that for N > 5 total optimum

expenditures in analysis, design, and revision vary nearly as $N^{1/2}$. The optimum cost of supervision per building decreases slightly for $N \leq 5$ and is almost constant thereafter.

In the second problem we recognize the possibility of failure under gravity loads, we take live load as a stochastic variable affecting failure costs and failure probabilities, the discount rate depends on the nature of the losses in case of failure, and the probability distribution of maximum structural seismic response is extreme type I, which is more realistic for small exceedance rates. The optimum expenditure on design is found to vary much as in the first problem. The optimum expenditure on supervision is almost independent of N, while those on analysis and revision grow slightly more slowly than $N^{1/2}$, so the paradox subsists.

Appendix: Approximate probability moments(8)

Let Y be a well behaved function of random variable X. Replace the probability density function of X with two concentrations: P_+ at x_+ and P_- at x_-. The choice $P_\pm = \{1 \mp [1 - (1 - \nu_X^2/4)^{-1}]^{1/2}\}/2$, $x_\pm = \bar{X} \pm \sigma_X (P_\mp/P_+)^{1/2}$ permits obtaining $\bar{Y}$ to second-order approximation and σ_Y and ν_Y to first order. Here σ^2 = variance, ν = skewness coefficient, and the sign preceding the brackets in the expression for P_+ is that of $-\nu_X$. For $|\nu_X| << 1$, $P_+ \doteq 1/2 \mp \nu_X/4$.

When $\nu_X = 0$, then $P_\pm = 1/2$, $x_\pm = \bar{X} \pm \sigma_X$, and so with $y_\pm = Y(x_\pm)$, $\bar{Y} \doteq (y_+ + y_-)/2$, $\sigma_Y \doteq |y_+ - y_-|/2$, $V_Y \doteq |y_+ - y_-|/|y_+ + y_-|$.

Now let $Y = Y(\{X_i\})$, $i = 1,2, \ldots, n$, and the X_i's be uncorrelated. Then $\bar{Y}/y \doteq \prod_{i=1}^{n} y_i/y$, $1 + V_Y^2 \doteq \prod_{i=1}^{n}(1 - V_i^2)$, $y = Y(\{\bar{X}\})$; y_i and V_i are computed respectively as $\bar{Y}$ and V_Y when $Y = Y(X)$ assuming that X_i is the only random variable and the other X's equal their expectations.

References

1. Simon, H A (1957) Models of Man. John Wiley & Sons, Inc, New York.

2. Schon, D (1971) Beyond the Stable State. Random House, Inc, New York

3. Ackoff, R L (1974) Redesigning the Future. John Wiley & Sons, Inc, New York

4. Rosenblueth, E (1976) Montos Optimos de los Servicios de Ingeniería Estructural para Conjuntos Habitacionales en Zona Sísmica. Ingeniería Sísmica, 14: 25-58

5. Rosenblueth, E (1976) Optimum Design for Infrequent Disturbances. Proc ASCE, 102, ST9: 1807-1825

6. Lind, N C (1976) Approximate Analysis and Economic Structures. Proc ASCE, 102, ST6: 1177-1196

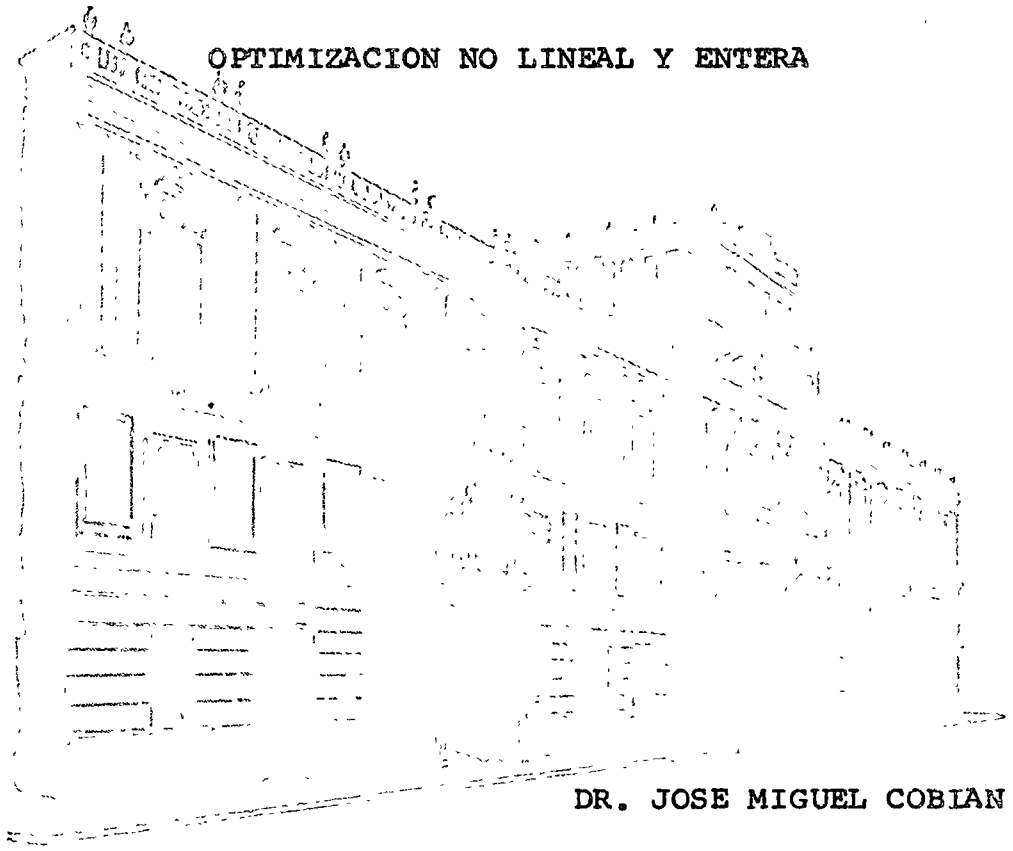
7. Joint-Committee on Structural Safety CEB-CECM-CIB-FIP-IABSE-RILEM (1976) Basic Notes on Actions. Third Draft, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon

8. Rosenblueth, E (1975) Point Estimates for Probability Moments. Proc National Academy of Sciences, 72, 10: 3812-3814

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

OPTIMIZACION NO LINEAL Y ENTERA



DR. JOSE MIGUEL COBIAN SELA

Junio-Septiembre 1977.

INTRODUCCION A LA PROGRAMACION MATEMATICA Y SUS APLICACIONES

DR. JOSE MIGUEL COBIAN SELA
División de Estudios Superiores
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F.
Junio de 1977.

1. INTRODUCCION

Desde un punto de vista puramente matemático, el problema de programación matemática consiste de los siguientes elementos básicos:

- parámetros o constantes
- variables (de decisión y de estado)
- funciones:
  - de restricción
  - de utilidad o costo

En sus aplicaciones a la solución de problemas reales, estos elementos generalmente adquieren la siguiente interpretación económica:

- recursos disponibles o requerimientos de los mismos
- actividades económicas o descripción de la situación de un sistema
  - interrelaciones entre las actividades y su correspondiente consumo o producción de recursos
  - objetivo económico a satisfacer

En este trabajo se tratará únicamente el caso de la pro-- gramación matemática discreta, según la clasificación del CUADRO I. Para este caso se tienen en general los siguien tes elementos:

(a) Un conjunto finito de actividades bajo con sideración: $x_1, x_2, \ldots, x_n$; $x \in R^n$

(b) Un conjunto finito de relaciones funciona- les que representan las interacciones en-- tre las actividades en cuestión y el consu mo o producción de los bienes o recursos - económicos correspondientes:

$$f_i(x) \geq b_i \qquad i = 1, \ldots, \alpha$$

$$g_j(x) = b_j \qquad j = \alpha+1, \ldots, \beta$$

$$h_k(x) \leq b_k \qquad k = \beta+1, \ldots, m$$

(c) Por último, una medida del costo o utili-- dad económica de cada conjunto particular- de actividades x:

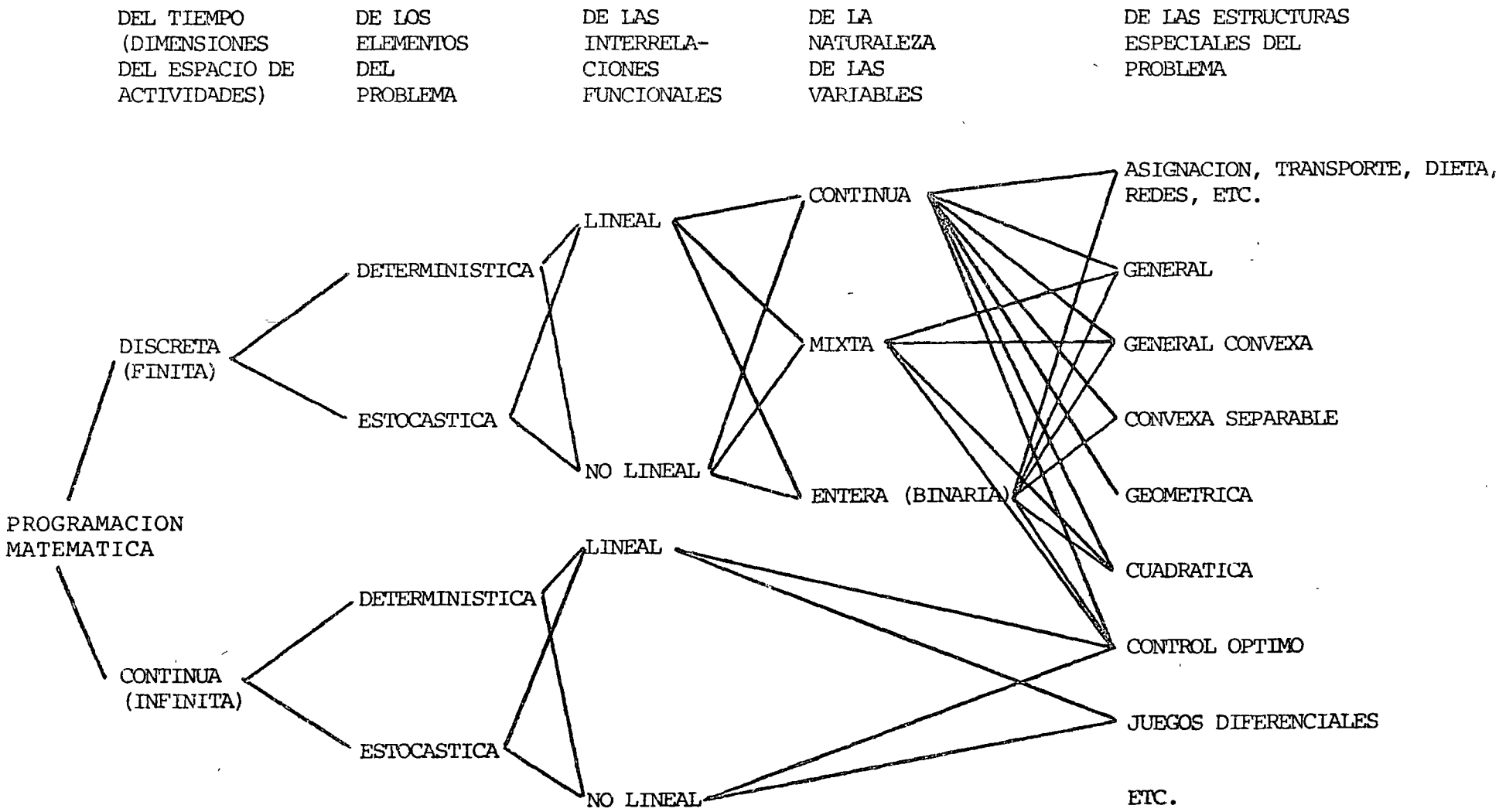
$$f_o(x) = z \ , \ z \in R^1 \ ; \ f_o(\cdot) : R^n \rightarrow R^1$$

El problema de programación matemática queda entonces en- forma condensada como sigue:

$$\min \text{ (o max)} \quad z = f_o(x)$$

sujeta a $$f_i(x) \geq b_i \qquad i = 1, \ldots, \alpha$$

SEGUN LAS CARACTERISTICAS



CUADRO 1

CLASIFICACIONES DE LA PROGRAMACION MATEMATICA

$$g_j(x) = b_j \quad j = \alpha+1,\ldots,\beta \qquad (1.1)$$

$$h_k(x) \leq b_k \quad k = \beta+1,\ldots,m$$

Este problema se puede representar en forma aún más abs-- tracta como:

$$\min \quad z = f_o(x)$$

$$\text{sujeta a} \qquad f(x) = 0 \qquad (1.2)$$

con $x \in \Omega$ en R^n y $f_o(\cdot) : R^n \to R^1$; $f(\cdot) : R^n \to R^{\beta-\alpha}$ y donde las funciones $f_o(\cdot)$ y $f(\cdot)$ se suponen ser contí-- nuamente diferenciables y el conjunto Ω es un subconjunto de R^n definido por las restricciones de desigualdad del - problema anterior. (Las operaciones de minimización y maximización son matemáticamente equivalentes, ya que

$$\min \quad f_o(x) = - \max \{- f_o(x)\}). \quad (2)$$

2. PROGRAMACION LINEAL Y SUS APLICACIONES

Como un caso particular del problema definido anteriormente se encuentra el problema de programación lineal:

$$\min \quad z = cx$$

$$\text{sujeta a} \qquad \alpha_i x \geq d_i \qquad i \in M_1 \qquad (2.1)$$

$$\alpha_i x = d_i \qquad i \in M - M_1$$

$$x_j \geq 0 \qquad j \in N$$

donde $M = \{1,\ldots,m\}$ y $N = \{1,\ldots,n\}$ son respectivamente los conjuntos de índices de las restricciones y de las variables del problema y α_i es el renglón i-ésimo de la matríz $A = (a_{ij})$ $i \in M$; $j \in N$. El problema de programación-lineal se representa usualmente en la siguiente forma condensada, equivalente matemáticamente a la forma anterior-(añadiendo las variables de holgura x_i^s necesarias para -- transformar las desigualdades del problema en igualdades:

$$\alpha_i x \geq d_i \rightarrow \alpha_i x - x_i^s = d_i)$$

$$\min \quad z = cx$$

$$\text{sujeta a} \qquad Ax = d \qquad (2.2)$$

$$x \geq 0$$

El problema de programación lineal formulado arriba es un modelo matemático que requiere, para una adecuada aplicación a la solución de problemas prácticos, que se cumplan en cada caso particular, las siguientes suposiciones implícitas a su estructura matemática:

(a) Costos o precios marginales constantes para todos los rangos de las actividades consideradas.

(b) Mercados idealmente competitivos (la utilidad de cualquier actividad económica es directamente proporcional a su nivel de intensidad). Se excluyen por lo tanto los ca

sos monopolísticos y oligopolísticos de -- competencia imperfecta.

(c) Cantidades limitadas de actividades posi-- bles y de recursos disponibles.

(d) Programación a corto plazo (las facilida-- des de producción y las tecnologías disponibles se consideran fijas).

(e) Aditividad y proporcionalidad a escala de- las actividades en su producción o utiliza- ción de los recursos requeridos o disponi- bles.

Un ejemplo de aplicación de la programación lineal a la - evaluación de alternativas de producción o compra de un - conjunto de n productos se describe a continuación. Se su- pone que una matríz $T = (t_{ij})$ indica los tiempos de fabri- cación internos del producto j ($j = 1,\ldots,n$) en la máqui- na i ($i = 1,\ldots,m$) propiedad de la empresa que realiza la evaluación. Esta empresa tiene disponibles únicamente b_i unidades de tiempo para cada máquina en el período de pla- neación considerado y requiere entregar una cantidad k_j de cada producto en ese mismo período debido a compromi-- sos contraídos. Se dispone además de información sobre -- los precios de compra p_j de los productos en el mercado - externo y sus respectivos costos internos de fabricación c_j.

Para este problema se tienen las siguientes variables de-

decisión:

x_j : producción interna del producto j

x_{n+j} : compra externa del producto j

$(j = 1,\ldots,n)$

Se tienen por lo tanto 2n variables de decisión o posi---bles actividades para este problema.

Se tienen además las siguientes restricciones:

Restricciones en los tiempos de producción de cada máquina:

$$\sum_j t_{ij}x_j \leq b_i \qquad (i = 1,\ldots,m)$$

Restricciones de satisfacción de las demandas:

$$x_j + x_{n+j} = k_j \qquad (j = 1,\ldots,n)$$

Restricciones de nonegatividad de las actividades:

$$x_j \geq 0 \qquad (j = 1,\ldots,2n)$$

El objetivo económico es en este caso el de minimizar el costo total de satisfacer los compromisos contraídos:

$$\min \quad z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j + \sum_{j=n+1}^{2n} p_j x_j$$

En forma condensada, el problema anterior queda:

$$\min \quad z = cx + py$$

$$\text{sujeta a} \qquad Tx \leq b$$

$$Ix + Iy = k \qquad (2.3)$$

$$x, y \geq 0 \qquad x, y \in R^n$$

Un ejemplo de aplicación macroeconómica de la programación lineal puede verse en el siguiente modelo nacional de insumo-producto, el cual, con algunos ajustes para hacerlo dinámico, se podría utilizar en la formulación de políticas económicas nacionales a mediano plazo. En el ejemplo aquí descrito se desea programar, para un solo período de tiempo, las actividades económicas de tres sectores interrelacionados, los cuales podrían ser, por ejemplo, los sectores agropecuario, industrial y de servicios de un país, respectivamente.

La información económica necesaria para la formulación de este problema puede verse en el CUADRO II (los datos son ficticios) y la explicación de la matríz simplificada de insumo-producto que allí aparece es como sigue: El sector económico 1, por cada unidad monetaria que produce, requiere adquirir de los sectores 2 y 3, 0.1 y 0.2 unidades monetarias de insumos respectivamente, más 0.3 unidades monetarias de importaciones y 0.3 unidades monetarias de fuerza de trabajo. Además, el sector 1 requiere una utili

SECTOR QUE VENDE	SECTOR QUE COMPRA			DEMANDA FINAL		PRODUCCION SECTORIAL
	1	2	3	CONSUMO INTERNO	EXPORTACIONES	
1	---	0.2	0.1	$100 + y_1$	x_1	z_1
2	0.1	---	0.3	$125 + y_2$	x_2	z_2
3	0.2	0.2	---	$30 + y_3$	x_3	z_3
IMPORTACIONES	0.3	0.1	0.2	DISPONIBILIDAD MAX.		
FUERZA DE TRABAJO	0.3	0.4	0.1	250		
UTILIDAD	0.1	0.1	0.3			
TOTAL	1.0	1.0	1.0			
CAPITAL REQUERIDO	0.8	0.5	2.0	700		

CUADRO II

INFORMACION ECONOMICA SECTORIAL

dad unitaria de 0.1 unidades monetarias y una inversión de capital de 0.8 unidades.

Las relaciones insumo-producto entre los sectores son, para el período en cuestión:

$$0.2\ z_2 + 0.1\ z_3 + 100 + y_1 + x_1 = z_1$$

$$0.1\ z_1 + 0.3\ z_3 + 125 + y_2 + x_2 = z_2$$

$$0.2\ z_1 + 0.2\ z_2 + 30 + y_3 + x_3 = z_3$$

Se requiere además que las importaciones no excedan a las exportaciones (balanza comercial favorable o al menos equilibrada):

$$0.3\ z_1 + 0.1\ z_2 + 0.2\ z_3 \leq x_1 + x_2 + x_3$$

Las restricciones de fuerza de trabajo y de capital disponible serían respectivamente:

$$0.3\ z_1 + 0.4\ z_2 + 0.1\ z_3 \leq 250$$

$$0.8\ z_1 + 0.5\ z_2 + 2.0\ z_3 \leq 700$$

Un posible objetivo económico podría ser por ejemplo, la maximización del consumo interno de la población:

$$\max\ u = y_1 + y_2 + y_3$$

Si se deseara maximizar el empleo nacional, por ejemplo, se tendría que eliminar la restricción de utilización de fuerza de trabajo y utilizarla ahora como nueva función objetivo:

$$\max \quad u' = 0.3\, z_1 + 0.4\, z_2 + 0.1\, z_3$$

Otras aplicaciones del problema de programación lineal a la solución de importantes problemas prácticos se mencionan en (7) y entre ellas se pueden anotar las siguientes áreas genéricas de aplicación:

(a) Aplicaciones militares

(b) Aplicaciones a las matemáticas puras y aplicadas como teoría de gráficas, análisis combinatorio, inversión y cálculo del rango de matrices, etc.

(c) Aplicaciones económicas en sectores como:
- industria petroquímica
- industria alimenticia
- metalurgia
- producción y distribución de energía eléctrica
- minería
- industria del papel
- transportes
- agricultura
- finanzas
- etc.

También en (7) se encuentran referencias de un gran número de contribuciones y aplicaciones de la programación lineal en las áreas arriba mencionadas, así como las principales técnicas de solución de este problema y su teoría correspondiente.

3. PROGRAMACION NO LINEAL Y SUS APLICACIONES

La formulación general del problema de programación no lineal es, de (1.1) o (1.2):

$$\min \text{ (o } \max) \quad z = f(x)$$

$$\text{sujeta a} \qquad g(x) \geq 0 \qquad (3.1)$$

$$\text{con} \qquad x \in R^n$$

$$\text{donde } f(\cdot) : R^n \to R^1 \; ; \quad g(\cdot) : R^n \to R^m$$

Como casos particulares de importancia de este problema se encuentran los siguientes:

(a) Problema de programación lineal:

$$\text{En este caso:} \qquad f(x) = cx$$

$$g(x) = Ax - d \qquad (3.2)$$

$$x \geq 0$$

(b) Problema de programación cuadrática:

En este caso: $f(x) = cx + xDx$

$$g(x) = Ax - d \qquad (3.3)$$

$$x \geq 0$$

y la matríz D debe ser positiva (negativa) semidefinida - para garantizar la convexidad (concavidad) de f(x) en el- caso de minimización (maximización).

Una interesante aplicación de la programación cuadrática- se encuentra en el modelo de Markowitz de selección de la cartera óptima de inversiones bajo condiciones de incerti dumbre (6). En este modelo se tienen n posibilidades de - inversión con rentabilidades aleatorias, de las cuales se conocen sus valores esperados μ_i y su matríz $Q = (q_{ij})$ de covariancias, donde:

$$q_{ij} = E((i - \mu_i)(j - \mu_j)) = E(ij) - \mu_i\mu_j$$

(si la variable aleatoria i es independiente de la variable j: $E(ij) = \mu_i\mu_j$ y $q_{ij} = 0$)

y $q_{ii} = \sigma_i^2$, la variancia de la rentabilidad unitaria de la inversión i-ésima (i = 1,...,n).

La variancia de una cartera cualquiera x de inversión está dada por xQx y una posible formulación de este problema sería la de minimizar la variabilidad total de la inversión sujeta a diversas restricciones de disponibilidad de capital, categorías de inversión, etc. y una restricción-

de utilidad esperada mínima c como base. La formulación - matemática de este problema quedaría entonces (6), (8):

$$\min \quad z = xQx$$

$$\text{sujeta a} \qquad Ax = d \qquad (3.4)$$

$$\text{y} \qquad \sum_i \mu_i x_i \geq c \; ; \qquad x \geq 0$$

(c) Problema de programación convexa separable:

En este caso:

$$f(x) = \sum_j f_j(x_j)$$

$$g(x) = \sum_j g_j(x_j) - d \qquad (3.5)$$

$$x_j \geq 0 \qquad (j = 1,\ldots,n)$$

(Todas las funciones del problema son funciones convexas de una sola variable).

Una aplicación práctica de este problema se daría en el - caso de selección de proveedores para un artículo determinado. Si se tienen n posibles proveedores para este artículo, cada uno con una función de costo para diferentes - cantidades del producto $f_j(x_j)$ $(j = 1,\ldots,n)$ (estas funciones representan los distintos precios y políticas de descuento de cada proveedor) y x_j denota la cantidad del producto que se adquiere del proveedor j-ésimo, la formulación matemática de este problema quedaría:

$$\min \quad z = \sum_j f_j(x_j)$$

sujeta a $$\sum_j x_j = d \qquad (3.6)$$

y con $$0 \leq x_j \leq u_j \qquad (j = 1,\ldots,n)$$

donde d es la cantidad de producto que se debe adquirir y las u_j $(j = 1,\ldots,n)$ representan limitaciones en las cantidades que cada proveedor puede surtir.

(d) Problema de programación geométrica:

El problema de programación geométrica en forma general es (3), (8):

$$\min \quad z = \ln f_o(x)$$

sujeta a $$\ln f(x) \leq 0 \qquad (3.7)$$

$$x - Ay = d$$

y $$h_j(x) = \sum_{i=n_j}^{m_j} e^{x_i} \qquad (j = 0,1,\ldots,p)$$

donde $f(\cdot) : R^{m_p} \to R^p$, los vectores $x \in R^{m_p}$ y $y \in R^n$ son variables y el vector $d \in R^{m_p}$ y la matríz A $(m_p x n)$ son constantes. En este problema $n_o = 1$, $n_1 = m_o + 1$, ..., $n_p = m_{p-1} + 1$.

El orígen de la denominación programación geométrica a esta forma particular del problema general de programación no lineal y a sus correspondientes técnicas de solución se debe principalmente a sus aplicaciones prácticas a problemas de diseño óptimo en la ingeniería y sus ciencias rela

cionadas. Como un ejemplo de aplicación de la programación geométrica al diseño de contenedores, se tiene el siguiente problema:

Se desea diseñar un contenedor de forma rectangular y dedimensiones óptimas, que sirva para transportar periódicamente un cierto volumen v de un producto. Los lados y elfondo del contenedor se fabrican de material de desecho,-sin costo, pero con una disponibilidad máxima de d unidades de área durante el período considerado. El material - para los extremos del contenedor cuesta c unidades monetarias por unidad de área y el material para la tapa cuesta p unidades monetarias por unidad de área. Los cargos de - transporte por cada contenedor son de k unidades moneta-- rias, sin importar sus dimensiones específicas.

El objetivo económico en este caso sería el de minimizarlos costos totales de materiales y de embarque para los - contenedores durante el período considerado:

$$\min \quad z = \quad 2c\, w_2 w_3 \frac{v}{w_1 w_2 w_3} + p\, w_1 w_2 \frac{v}{w_1 w_2 w_3} + k \frac{v}{w_1 w_2 w_3}$$

(donde w_1, w_2 y w_3 son las dimensiones de los contenedo-- res), sujetos a la restricción de disponibilidad del material de desecho:

$$\frac{v}{w_1 w_2 w_3} (2 w_1 w_3 + w_1 w_2) \leq d$$

y a la positividad estricta de las dimensiones:

$$w_1 > 0, \quad w_2 > 0, \quad w_3 > 0$$

En forma general este problema se puede formular como:

$$\min \quad z = f_o(w)$$

$$\text{sujeta a} \qquad f_j(w) \leq 1 \qquad (j = 1,\ldots,p) \qquad (3.8)$$

$$w > 0$$

donde las funciones $f_j(w)$ $(j = 0,1,\ldots,p)$ son de la forma:

$$f_j(w) = \sum_{i=1}^{k_j} c_{ij} \left\{ \prod_{k=1}^{n_{ij}} w_k^{a_{ijk}} \right\}$$

Estas funciones se denominan "posinomios"(o polinomios positivos) en la terminología particular de la programación geométrica. Finalmente, se puede demostrar, mediante un cambio de variable $w = e^x > 0$, que las dos formas generales (3.7) y (3.8) del problema de programación geométrica son equivalentes (8).

(e) Problema de control óptimo:

En el problema de control óptimo en tiempo discreto se tienen un vector $u^i = (u_1^i,\ldots,u_m^i)$ de variables de control y un vector $x^i = (x_1^i,\ldots,x_n^i)$ de variables de estado, las cuales describen completamente al sistema que se quiere controlar en el tiempo i $(i = 1,\ldots,T)$. La función vectorial $g^i(x^i,u^i)$, $g^i(\cdot,\cdot) : R^n \times R^m \to R^n$, describe el cambio de estado del sistema en cuestión del tiempo i al tiempo i+1, dados un estado inicial x^i y una decisión u^i en el tiempo i:

$$x^{i+1} = x^i + g^i(x^i,u^i)$$

Asimismo, la función $f^i(x^i,u^i)$, $f^i(\cdot,\cdot) : R^n \times R^m \to R^1$, indica el beneficio (o costo) asociado con estar en el estado x^i en el tiempo i (i = 1,...,T) y efectuar una decisión (control) u^i en ese mismo tiempo. Para completar la formulación del problema se debe especificar el estado inicial del sistema, x^1, y en alguna forma, ya sea explícita o implícita, el estado final, x^{T+1}.

El problema de control óptimo se formula entonces como:

$$\min \text{ (o max)} \quad z = \sum_i f^i(x^i,u^i)$$

$$\text{sujeta a} \qquad x^{i+1} = x^i + g^i(x^i,u^i) \quad (i = 1,\ldots,T) \qquad (3.9)$$

$$\text{y} \qquad q(x^{T+1}) = 0, \quad x^1 \text{ especificado}$$

donde $q(\cdot) : R^n \to R^k$, $0 \leq k \leq n$, es una función de restricción del estado final. Finalmente, se pueden especificar, para i = 1,...,T, subconjuntos X_i en R^n, U_i en R^m, D en R^s y una función de restricción conjunta $h(\cdot,\cdot) : R^{n(T+1)} \times R^{mT} \to R^s$, que imponen condiciones adicionales sobre los estados y controles del sistema (2).

El caso estocástico es mucho más difícil de formular y de resolver. Uno de los problemas de control óptimo estocástico en tiempo discreto de estructura más simple y que ha sido bastante estudiado en la literatura (1), (5), es el del control óptimo de un proceso estocástico Markoviano - discreto en el tiempo y en el espacio (cadena de Markov). Un ejemplo de un sistema cuya secuencia de estados en el tiempo $\{x^i\}$ constituye un proceso de Markov es el siguiente sistema lineal:

$$x^{i+1} = Ax^i + Bu^i + \xi^i \qquad (3.10)$$

donde A y B son matrices constantes, $\{\xi^i\}$ es una secuencia de variables aleatorias independientes y los controles u^i dependen únicamente de los estados x^i (5).

Como ejemplos de aplicación del problema de control óptimo, se pueden mencionar el control dinámico de inventarios en el tiempo para las situaciones en que las demandas se conocen perfectamente durante todo el período de control (caso determinístico) y para aquellas situaciones en que únicamente se conocen sus funciones de distribución de probabilidad en el tiempo (caso estocástico).

El problema del control de inventarios determinístico dinámico se podría formular como:

$$\min \quad z = \sum_j f_j(x_j, u_j) \tag{3.11}$$

sujeta a las ecuaciones de balance de inventarios:

$$x_{j+1} = x_j + u_j - d_j \qquad (j = 1, \ldots, n)$$

con el inventario inicial x_1 especificado; $x_j \geq 0$ es la posición de inventario del sistema al principio del período j, $u_j \geq 0$ es la cantidad pedida al principio del período j (se supone aquí que los pedidos llegan dentro del mismo período en que se colocan) y $d_j \geq 0$ es la demanda por el producto considerado durante el período j. Las funciones f_j proporcionan el costo asociado con el período j cuando u_j es la cantidad pedida y x_j es la posición de inventario antes de colocarse el pedido.

En el caso en que las demandas d_j sean variables aleatorias discretas e independientes con funciones de distribución de probabilidad $p_j(d_j)$ conocidas, el objetivo econó-

mico del problema (3.11) se transforma en el de minimizar el valor esperado del costo total para los n períodos considerados:

$$\min \quad z = \sum_{d_j \geq 0} \{ \prod_j p_j(d_j) \} \{ \sum_j f_j(x_j, u_j) \} \qquad (3.12)$$

(El objetivo anterior no es el único posible bajo situaciones de incertidumbre. En general y según la teoría de utilidad o los modelos de comportamiento racional que en ella se estudian, el objetivo será el de maximizar el valor esperado de una cierta función de utilidad, la cual dependerá de la organización o persona que toma la decisión).

4. PROGRAMACION ENTERA Y SUS APLICACIONES

El problema general de programación entera se formula como el problema general no lineal (3.1), más las restricciones adicionales de integralidad en las variables x_j ($j = 1,\ldots,n$):

$$\min \text{ (o max)} \quad z = f(x)$$

$$\text{sujeta a} \qquad g(x) \geq 0 \qquad (4.1)$$

$$x \in R^n, \text{ entera}$$

y con $f(\cdot) : R^n \to R^1$; $g(\cdot) : R^n \to R^m$

Si únicamente las variables correspondientes a un subconjunto propio de las n variables originales x_j del problema se restringen a ser enteras, el problema se convierte

en un problema de programación entera mixta. Obsérvese que el problema de programación entera es un caso particular del problema de programación entera mixta y no al revés, como pudiera parecer. Si las variables enteras se restringen únicamente a los valores 0,1, el problema se denomina de programación binaria (mixta). Cualquier problema de programación entera (mixta) con variables enteras acotadas se puede representar como un problema de programación binaria (mixta) equivalente, ya que cualquier variable entera acotada $x_j \leq u_j$ se puede remplazar por una suma de variables binarias:

$$x_j = \sum_{k_j} t_{k_j} \quad \text{donde las } t_{k_j} \text{ son binarias:}$$

$$t_{k_j} = 0,1 \quad (k_j = 1,\ldots,u_j)$$

El problema de programación entera se aplica en aquellos casos en que los niveles de las actividades económicas son naturalmente enteros (ej.: en la programación de la fabricación de determinados tipos de productos donde no tendría sentido hablar de cantidades fraccionarias, etc.). Sin embargo, posiblemente la aplicación de la programación entera más importante se encuentra bajo su forma de programación binaria, donde las variables binarias se utilizan para formular situaciones de decisión o no decisión, o de relaciones lógicas de dependencia; situaciones muy frecuentes en la formulación de problemas prácticos del tipo, por ejemplo, de localización de plantas, de selección y programación de proyectos de inversión, de asignación de hombres o equipos a tareas, etc.

Algunas restricciones lógicas típicas con variables binarias serían, por ejemplo, las siguientes:

(Las variables binarias x_i y x_j representan la selección o el rechazo de los proyectos i y j respectivamente)

$x_i + x_j \geq 1$: se debe emprender al menos uno de los proyectos .

$x_i + x_j = 1$: uno de los proyectos se debe emprender necesariamente, el otro se descarta (exclusividad mutua)

$x_i + x_j \leq 1$: se selecciona a lo más uno de los proyectos

$x_j - x_i \leq 0$: el proyecto j está subordinado al proyecto i ($x_j \leq x_i$)

Entre las aplicaciones más importantes de la programación binaria se encuentra el modelo de Lorie-Savage de presupuesteo de capital, al cual también se le denomina en la literatura como "knapsack" (mochila) extendido o multidimensional:

$$\max \quad z = \sum_j c_j x_j$$

$$\text{sujeta a} \qquad \sum_j a_{tj} x_j \leq d_t \qquad (t = 1,\ldots,T) \qquad (4.2)$$

$$\text{con} \qquad x_j = 0,1 \qquad (j = 1,\ldots,n)$$

En este caso el problema consiste en seleccionar óptimamente, de entre n posibles proyectos de inversión independientes, aquella combinación de ellos que maximice la utilidad total, donde las c_j (j = 1,...,n) denotan las utili

dades individuales de cada proyecto, las a_{tj} indican el costo durante el período t de emprender el proyecto j y las d_t indican las disponibilidades de capital durante los períodos t (t = 1,...,T). Las variables binarias x_j (j = 1,...,n) indican si se emprende o no cada proyecto j.

Otra aplicación interesante de la programación binaria se encuentra en el siguiente modelo de localización de plantas o industrias, el cual ilustra también el manejo de cargos fijos mediante la utilización de variables binarias.- En este problema se tienen m posibles localidades y un solo producto con n clientes o mercados dispersos geográficamente. Si la planta o industria se localiza en la localidad i (i = 1,...,m), se puede construir hasta una capacidad máxima de producción M_i (dependiente de i) y se incurre en un costo fijo, único, de instalación f_i. En cada uno de los mercados j (j = 1,...,n) se tiene una demanda conocida d_j por el producto, que debe ser satisfecha. Los embarques z_{ij} de la localidad i al mercado j tienen un costo unitario c_{ij} y se desea minimizar el costo total de instalación de las plantas y de embarques del producto:

$$\min \quad z = \sum_i f_i x_i + \sum_i \sum_j c_{ij} z_{ij}$$

sujeta a restricciones de satisfacción de las demandas:

$$\sum_i z_{ij} = d_j \qquad (j = 1,...,n)$$

restricciones de capacidad de producción:

$$\sum_j z_{ij} \leq M_i x_i \qquad (i = 1,...,m) \qquad (4.3)$$

restricciones de nonegatividad de los embarques:

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

SIMULACION DIGITAL

ING. LEONARD RAPOPORT Y.

JULIO 1977.

SIMULACION DIGITAL

Ing. Leonard Rapoport

INTRODUCCION

La simulación es en sí un concepto intuitivo muy simple, que sin embargo es una de las herramientas más poderosas en el análisis de sistemas. Es una técnica que se semeja a un laboratorio en el cual se hacen experimentos para entender el comportamiento de un sistema, ya sea real o propuesto, sin necesidad de tener acción directa sobre el mismo.

Debido a la gran cantidad de operaciones aritméticas necesarias, la simulación ha tenido un gran auge desde la aparición de las computadoras electrónicas y está basada en técnicas simples de probabilidad, estadística y sobre todo mucha intuición. Debido a lo anterior es difícil dar una serie de reglas fijas para el proceso, sin embargo, es indispensable conocer algunas técnicas e ideas básicas.

En esta plática pretendemos enmarcar la Simulación Digital como una herramienta numérica, en ocasiones poco elegante y sofisticada, para resolver problemas, indicar cuales son los diferentes tipos de modelos y los pasos a seguir en el uso de esta técnica.

Se definen los procesos de Monte Carlo y la obtención de números aleatorios con diferentes distribuciones, así como los conceptos de tiempos de servicio, tiempos entre llegadas y líneas de espera.

Se indican las entidades que interviene en problemas de simulación, y el uso de computadoras para la solución de los mismos, con una breve descripción de los lenguajes más comunmente utilizados.

SISTEMAS Y MODELOS

Existen tantas definiciones de Sistemas, como libros sobre el tema se han escrito, cada una de ellas dando énfasis a un aspecto diferente. Creemos que para nuestro fin, la que más se ajusta es la dada por Gordon :

" Un sistema es una agregación o ensamblaje de elementos, unidos en una interacción o interdependencia regular ".

Se llaman sistemas continuos a aquellos en que los cambios son predominantemente 'suaves', y su descripción estará generalmente dada en forma de ecuaciones continuas. Los sistemas discretos son aquellos en que los cambios ocurren en forma discontinua, es decir, en determinados tiempos. Sin embargo el tipo de descripción no necesariamente coincide con el tipo de sistema. Para fines de estudio, los sistemas continuos se pueden simplificar, discretizándolos y estudiando los cambios a través de una serie de pasos discretos.

Con objeto de poder estudiar el comportamiento de un sistema, el primer paso que debe darse es representarlo por medio de un modelo. Los modelos no deben ser tan complejos ni difíciles como el sistema representado, pues no tendrían entonces ninguna ventaja. Se pueden construir modelos mucho más simples que la realidad, que sin embargo representan adecuadamente las características del sistema real.

No existen modelos únicos para representar la realidad. De hecho el modelo depende de la persona que lo elabore, o los aspectos que interesen estudiar del sistema. La calidad del modelo depende de su simplicidad y de su apego a la realidad; para lograrla se requiere imaginación, intuición y creatividad en el grupo o persona que lo desarrolle. No es posible preparar un manual para construcción de modelos, es más, de

existir ese manual sería contraproducente ya que restringiría la creatividad de los que lo usaran. Ackoff, ha establecido una serie de patrones, basados en experiencias anteriores que permiten dar ideas básicas para el establecimiento de modelos.

Existen varios tipos de modelos a saber :

- Simbólicos, usan letras, números y otros tipos de símbolos para representar variables y las relaciones entre ellas. Toman la forma de relaciones matemáticas. (Se acostumbra por lo tanto llamarlos modelos matemáticos). Como ejemplo tenemos la Ley Gravitacional de Newton.

- Icónicos, las propiedades importantes se representan por sí mismas, generalmente con un cambio de escala, es decir son imagenes del sistema real, pues tienen su misma apariencia. Como ejemplos, tenemos los modelos a escala de aviones estudiados en túneles de viento, o los modelos del sistema solar usados en los planetarios.

- Análogos, en donde una serie de propiedades son usadas para representar a otro conjunto de propiedades. Un sistema hidráulico puede ser usado como analogía de un sistema de tráfico de automóviles; también es conocida la analogía entre sistemas eléctricos e hidráulicos.

- Lógicos, dado por elementos de tipo lógico que al seguir una secuencia dan por resultado una representación del sistema. Los diagramas de flujo y los programas de computadora son ejemplos de este tipo de modelos.

Como se definirá más adelante, la simulación de tipo digital, maneja exclusivamente modelos de tipo simbólico o matemático. Los modelos pueden a su vez, de acuerdo con sus características, subdividirse en varias clases, las cuales no son mutuamente exclusivas:

- Modelos determinísticos, donde el resultado queda descrito completamente en términos de los datos de entrada; es decir, las relaciones están perfectamente establecidas entre las variables y ninguna de ellas es aleatoria. Su solución más adecuada es por medio de técnicas analíticas. Un ejemplo, es el cálculo tradicional de deformaciones en una viga, debidas a cargas.

- Modelos estocásticos, donde cuando menos una de las características está dada por una función de probabilidad. En este caso el uso de técnicas analíticas es muy compleja, requiriéndose otras técnicas, como simulación, para su solución. Un ejemplo se encuentra en el funcionamiento de vasos de presas, donde el escurrimiento de los ríos es una variable aleatoria.

- Modelos estáticos, son aquellos en que la variable tiempo, no interviene explícitamente. Por ejemplo, casi todas las aplicaciones de programación lineal y no lineal caen en esta categoría.
  La mayor parte de los modelos estáticos, son a su vez determinísticos, por lo que pueden resolverse con técnicas analíticas.

- Modelos dinámicos, donde se manejan interacciones en el tiempo. Pueden resolverse por métodos analíticos en algunos casos sencillos, pero en general se resuelven por algún sistema numérico como puede ser la simulación digital. Los fenómenos económicos y demográficos requieren generalmente, modelos de este tipo.

SIMULACION DIGITAL

De acuerdo con Naylor, podemos definir Simulación Digital como:

" Una técnica numérica para llevar al cabo experimentos en una computadora digital, utilizando ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de un sistema, a lo largo de un cierto período de tiempo" .

De acuerdo con la definición anterior, estaremos tratando con modelos matemáticos, dinámicos y generalmente estocásticos, de sistemas discretos. No se trata de obtener soluciones analíticas de problemas, sino de seguir el comportamiento numérico de una serie de elementos representativos del sistema a lo largo del tiempo, estando sus interacciones perfectamente definidas.

Otra definición que nos permite entender, sobre todo los usos de la simulación, es la dada por Shannon:

" Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y efectuar experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos por uno o varios criterios), para la operación del sistema".

En general podemos decir que la simulación usa el modelo matemático como un laboratorio de experimentación con el cual va a obtener resultados, los cuales puede utilizar para diferentes objetivos.

La forma de efectuar estos estudios depende de la naturaleza de los mismos. En general los estudios de los sistemas son de tres tipos : Análisis, diseño y postulación. Generalmente se llama Ingeniería de Sistemas a los estudios que incluyen análisis y diseño.

El uso de la simulación para cada uno de ellos puede resumirse como sigue:

- Análisis de sistemas, que estudia sobre el modelo el comportamiento de un sistema existente o propuesto. La situación ideal sería hacer el análisis sobre el sistema real, lo cual en la mayoría de los casos no es posible, por lo cual la simulación dá una herramienta adecuada para investigar el comportamiento del sistema.

- Diseño de sistemas, cuyo objeto es producir un sistema que cumpla con ciertas especificaciones. El diseñador propone unos ciertos elementos constitutivos, y estudia su comportamiento por medio de simulación. Si éste es adecuado y cumple con las restricciones y especificaciones propuestas, se acepta, en caso contrario se corrige y vuelve a someterse a simulación.

- Postulación de sistemas, usado principalmente en las ciencias sociales, económicas y políticas, donde se conoce el comportamiento del sistema, pero no los procesos que producen ese comportamiento. Se hacen hipótesis y se establece un modelo, tratando en este caso de ajustarlo a la realidad por medio de parámetros. Una vez hecho, se puede entender mejor el funcionamiento del sistema, predecir eventos y formular hipótesis más refinadas.

Podemos resumir lo anterior diciendo que la simulación es una técnica que nos permite conocer el funcionamiento de un sistema, sin tener que construirlo, a la vez que nos da oportunidad, de probar diferentes soluciones y adoptar la más conveniente. En caso de sistemas ya existentes nos permite entenderlos mejor y proponer cambios a los mismos, sin necesidad de experimentar directamente en ellos, lo cual es molesto, costoso e inseguro.

A través de la simulación, se pueden estudiar los efectos de modificaciones en el sistema, cambiando los elementos e interacciones en el modelo. Puede además usarse como un dispositivo pedagógico para la enseñanza tanto a estudiantes como a

personal de operación, de los efectos de los diferentes elementos en el sistema y las consecuencias de las decisiones que se toman sobre la operación del mismo.

La simulación puede servir para experimentar sobre nuevas situaciones acerca de las cuales conocemos poco, y nos permiten predecir lo que pueda pasar. Al introducir nuevos componentes al sistema, nos puede anticipar sobre posibles problemas que surjan en la operación real del mismo.

PASOS A SEGUIR EN LA SOLUCION DE PROBLEMAS DE SIMULACION

La aplicación de simulación a diferentes tipos de estudios, hace necesario establecer una cierta secuencia lógica de pasos a seguir en la solución del problema:

1. Definición del problema. Aunque parece obvio, para encontrar la solución de un problema, lo primero que debemos hacer es tratar de establecer claramente cual es el problema que se trata de resolver, y establecer los objetivos del estudio.

2. Planeación del estudio. Una vez definido lo que se quiere obtener, es conveniente establecer un plan detallado sobre la amplitud del estudio, limitar en tiempo y en extensión las partes constitutivas del mismo, con objeto de establecer un plan previo que debe seguirse y evitar concentrarse en unos aspectos más que en otros. Una falta común en problemas de simulación, es que se pierde el contacto con el problema real y se pretende sacar a lo largo del estudio más información de la que puede obtenerse de los datos disponibles.

3. Revisión y obtención de datos. Es conveniente ver con que datos se cuenta, y su confiabilidad. En caso de que no se tenga información suficiente, es necesario establecer los medios para recolectar y procesar información, que

sea usada como dato para el estudio.

4. Formulación y evaluación del modelo matemático. Debe establecerse la estructura del modelo a ser usado, especificando sus componentes, sus variables, parámetros y sus relaciones funcionales.

   Según lo antes expuesto, el modelo debe enfatizar las partes del sistema que se quieran estudiar. Los parámetros deben establecerse de acuerdo con los datos disponibles. Las variables representativas deben escogerse adecuadamente, y establecer las relaciones entre e las lo más sencillo posible, con objeto de no complicar demasiado el modelo. Debe tenerse en mente la facilidad de programación y eficiencia de la solución con la computadora. Claro está, que en ningún momento debe sobresimplificarse el modelo y ya no representar al sistema real en forma adecuada. Una vez establecido el modelo es conveniente revisarlo detenidamente con objeto de evaluarlo, ver su potencialidad y estar seguros que representa al sistema real y puede ser usado para los experimentos para los que fue diseñado.

5. Formulación del programa de computadora. Una vez establecido el modelo, debe escogerse el lenguaje de computadora que se utilizará para su solución, ya que ésta depende mucho del lenguaje escogido. En donde sea posible, se escogerá el lenguaje más adecuado y en otros se usará el disponible. Como en todo caso de programación de computadoras, deberá hacerse un diagrama de flujo, codificación, y pruebas del programa. Estas pruebas deben hacerse con objeto de que el programa represente el modelo propuesto.

6. Validación. Este es uno de los pasos más complejos, ya que requiere un gran conocimiento del problema simulado, y mucho juicio. Sirve para que el analista tenga un nivel aceptable de confianza de que los resultados son correctos respecto al sistema real. Básicamente pueden hacerse dos pruebas para validar un modelo. Primero, estudiar

que tanto se parecen los valores simulados de variables a los datos históricos reales que se tengan sobre ese sistema o de otro semejante. Segundo, observar que tan exactas son las predicciones del modelo respecto al sistema real, es decir si dan valores lógicos.

La validación en los modelos se hace ajustando ciertos parámetros que están bajo control del analista, con objeto de acercarlos lo más posible a la realidad. Se debe recurrir a personas de gran intuición y criterio que conozcan perfectamente el sistema simulado para que opinen sobre los resultados obtenidos. Existen otros métodos de validación que consisten en probar las hipótesis usadas y analizar las respuestas por medio de pruebas estadísticas.

7. Diseño de experimentos. Con objeto de cumplir con los objetivos del estudio, debemos de establecer los experimentos que se harán con el modelo, tomando en cuenta entre otras cosas el costo del uso de la computadora. Es común que si no se tiene un diseño previo de los experimentos a efectuar, el usuario acaba con una gran cantidad de información obtenida sin planeación y sin saber que hacer en ella.

8. Ejecución de la simulación, y análisis de resultados. Una vez que se tiene el modelo, el programa y los experimentos, hay que hacerlos utilizando la computadora. Las respuestas obtenidas, si los objetivos fueron claramente trazados, contribuirán a entender mejor el sistema real y a tomar decisiones sobre el mismo. Los resultados finales pueden tabularse o graficarse.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA SIMULACION

Ya se ha hablado de que la simulación es una técnica numérica útil para resolver muchos problemas de tipo experimental, sin embargo, de acuerdo con Shannon, el analista debe considerar el uso de la simulación cuando existen las siguientes condiciones :

- No existe una formulación matemática completa del problema o no hay métodos analíticos para resolver el problema.

- Existen métodos analíticos, pero los procesos matemáticos son muy complejos.

- Existen soluciones analíticas pero están fuera de la capacidad del personal disponible.

- Se desea observar la historia simulada de un proceso a lo largo del tiempo además de estimar ciertos parámetros.

- La simulación puede ser la única posibilidad debido a la dificultad de hacer los experimentos en su medio real (estudios del espacio).

- Compresión en el tiempo de sistemas que son muy largos, ya que la simulación permite el control sobre el tiempo acelerándolo o deteniéndolo.

Sin embargo al hacer uso de la simulación digital debe tenerse en mente los siguientes puntos:

- El desarrollo de un buen modelo de simulación es frecuentemente caro y lleva mucho tiempo, requiriendo mucho talento que a veces no existe.

- La simulación puede parecer que refleja adecuadamente la situación real, sin embargo, en realidad no lo hace, debi

do a problemas intrínsecos del modelo.

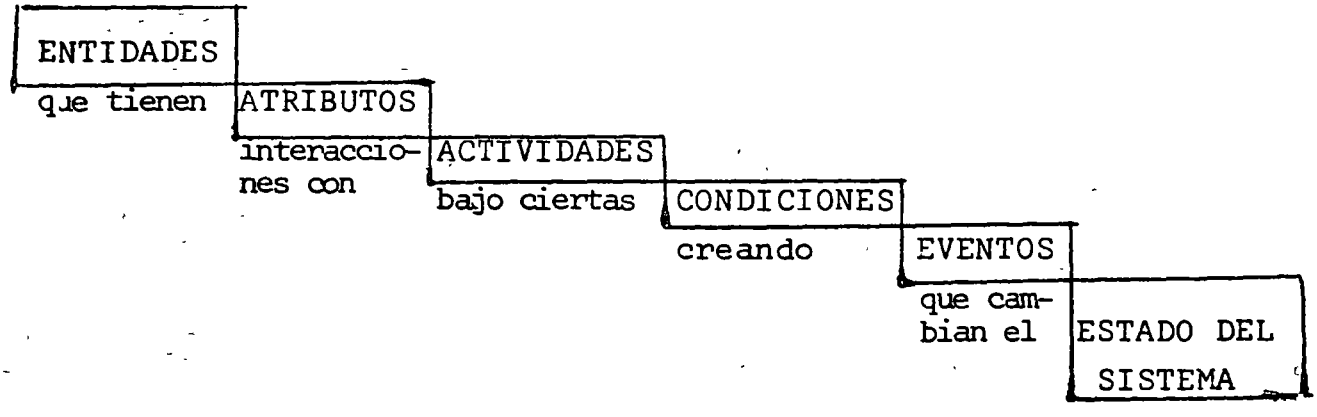
- La simulación es imprecisa y no podemos medir el grado de imprecisión. El análisis de sensibilidad al cambiar valores de parámetros puede dar una idea al respecto.

- Como el resultado es numérico se corre el peligro de 'dei ficar los números', es decir, darles mayor importancia de la que tienen.

ELEMENTOS DE SIMULACION

En la técnica de simulación de eventos discretos, se manejan modelos cuyas entidades interactúan entre sí en puntos dis-- cretos de tiempo y no continuamente. Se llaman entidades a los objetos cuyo comportamiento interesa en el sistema, llamándose atributos a las propiedades que pueden tener. Las ac tividades son los procesos que causan los cambios en el sistema bajo ciertas condiciones, tomando tiempo en realizarse. Los eventos son los instantes de tiempo en que las actividades empiezan o cesan. El estado del sistema es una descripción de las entidades, atributos y actividades en un momento dado. La simulación, lo que trata es de seguir los cambios de estados a lo largo del tiempo.

En forma esquemática :



Existen eventos endógenos que son aquellos generados por el modelo en sí, de acuerdo con actividades previas, y eventos exógenos que son los estímulos al modelo que provienen del 'mundo exterior'. El límite entre este 'mundo exterior' y el sistema depende del modelo utilizado y los fines del mismo, ya que en algunos casos los elementos pueden considerarse como externos y en otros como parte del sistema.

Como casi todos los estudios de simulación tienen que ver con los cambios de estado en el tiempo, existen dos formas de tener el flujo a través del tiempo: uno de ellos por medio de incremento constante en el tiempo y el otro moviendo el tiempo sólo a los puntos donde ocurren eventos.

CONCEPTOS DE PROBABILIDAD EN SIMULACION

Ya hemos definido una actividad aleatoria como aquella en que para cada entrada la salida depende de una serie de valores dados según ciertas probabilidades. Una variable estocástica es la que corresponde a una actividad aleatoria, no conociéndose la secuencia exacta de los valores que pueda tener, pero sí el rango de los mismos y su probabilidad.

Caso discreto.

Si una variable estocástica puede tener 'n' valor diferentes x_i ($i = 1, 2, \ldots n$) y la probabilidad de que valga x_i es P_i, se dice que P_i ($i = 1, 2, \ldots n$), es la función de probabilidad discreta ($\sum_{i=1}^{n} P_i = 1$).

Por ejemplo, si tabulamos el número de artículos comprados por 1,000 clientes, podemos obtener la probabilidad del número de artículos (x_i) comprados por cada cliente.

No. de artículos (x_i)	No. de clientes	Probabilidad (P_i)
1	200	0.200
2	350	0.350
3	150	0.150
4	50	0.050
5	100	0.100
6	150	0.150
SUMA	1,000	1.000

Caso continuo.

Si no está limitado x_i a valores discretos, sino que en teoría, puede tener un número infinito de valores, la probabilidad de que ocurra un valor específico se debe considerar igual a cero. Para describir la función se define una función de densidad de probabilidad f(x) tal que, la probabilidad de que 'x' caiga entre x_1 y x_2 es :

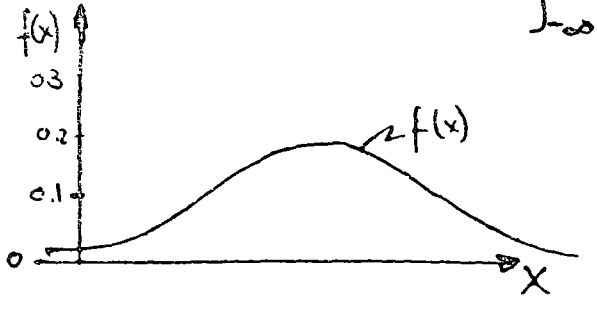
$$\int_{x_1}^{x_2} f(x)\,dx \qquad f(x) \geq 0$$

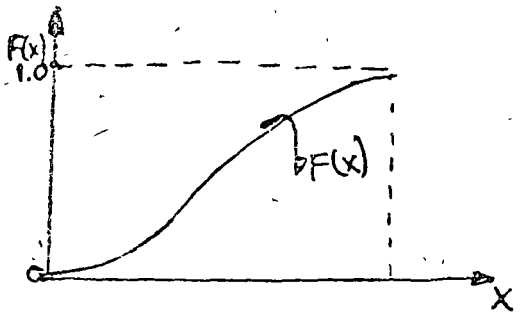
Intrínsecamente

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\,dx = 1$$

Se define la función de distribución acumulada F(x), como la probabilidad de que el valor observado sea menor o igual a 'x'.

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)\,dx$$





Aunque la función sea continua, podemos discretizar f(x), considerando intervalos suficientemente pequeños y dentro de ellos la función de densidad constante, por lo cual los tramos en la función acumulada son rectos, lo cual nos permite hacer interpolaciones lineales.

Simulación Monte Carlo.

Reciben este nombre los métodos computacionales con variables aleatorias. El problema básico es generar una secuencia de números donde los valores sucesivos son aleatorios y tienen la distribución de la variable estocástica.

Las técnicas de Monte Carlo son usadas para una infinidad de aplicaciones, entre ellas: valuación de integrales, predicción de población, simulación, estimación del valor de , etc.

Distribución uniforme continua.

Este tipo de distribución es la básica, ya que de ella se puede obtener cualquier otro tipo de distribución ya sea discreta o continua.

Definimos la distribución uniforme continua como aquella "en que la probabilidad de que una variable x caiga en cualquier intervalo con cierto rango de valores es proporcional a la relación del tamaño del intervalo al rango", es decir cualquier punto en el rango tiene la misma oportunidad de ser escogido.

Sin perder generalidad podemos considerar el rango de 0 a 1, ya que si r_i es una secuencia de números uniformemente distribuidos entre 0 y 1, para pasar a un rango generalizado de A a B, bastará hacer la transformación

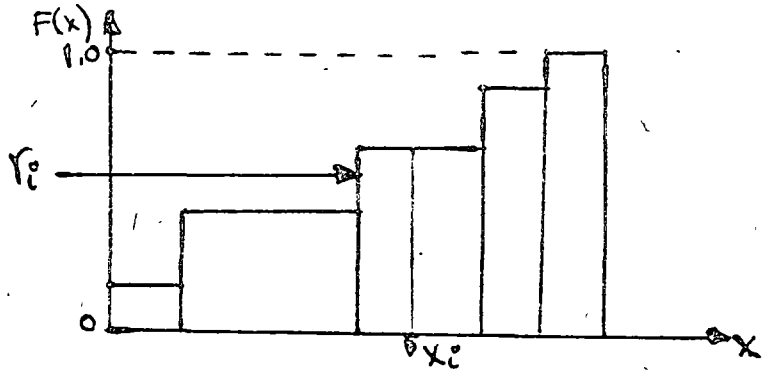
$$(B-A)r_i + A$$

En cálculos numéricos se escoge un número de cifras significativas para representar a la cantidad, dependiendo de la exactitud deseada. En el Anexo 1, se presenta una tabla con números aleatorios uniformes que puede ser utilizado en cálculos manuales.

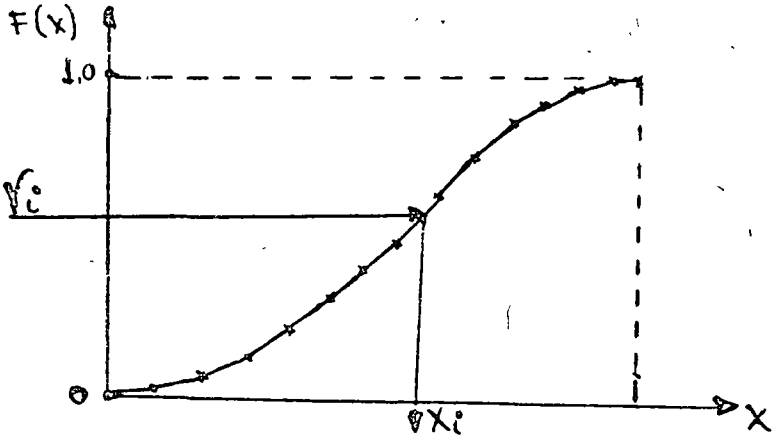
Para gererar este tipo de números aleatorios existen varios métodos: procesos físicos, tablas impresas o técnicas aritméticas para generación de números pseudoaleatorios (así llamadas porque se vuelven a repetir en ciclos).

Generación de números aleatorios con otras distribuciones.

Si conocemos la función de probabilidad acumulada F(x) ya sea discreta o continua discretizada, para obtener una secuencia de números aleatorios con esta distribución, se hace generalmente a través de números aleatorios uniformes de 0 a 1 y haciendo la conversión a través del conocimiento de F(x), usando interpolación lineal.



Discreto



Continuo Discretizado

En los procesos de simulación pueden usarse distribuciones obtenidas de la observación real del fenómeno o a través de distribuciones teóricas que pueden ser adaptadas a cada uno de los fenómenos que se están simulando.

FORMAS DE LLEGADA Y TIEMPOS DE SERVICIO

Una secuencia muy común que se presenta en los problemas de simulación es el siguiente:

Llegan entidades con ciertas características, de acuerdo con un tiempo entre-llegadas a estaciones de servicio. En caso de que las estaciones de servicio estén llenas, se presenta congestionamiento del sistema formándose líneas de espera. De acuerdo con lo anterior, existen 3 conceptos fundamentales:

a) Forma de llegada, que está dada por una función de probabilidad de tiempos entre-llegadas (Generalmente Distribución Exponencial o de Poisson; Hiperexponencial y Erlangk).

b) Forma de servicio, caracterizada por el número de estaciones de servicio (canales), su disponibilidad en un momento dado, y el tiempo de servicio en cada uno de ellos, dado como una función de probabilidad. (Generalmente Distribución Normal ó Gaussiana).

c) Líneas de espera, debiéndose definir como se escoge el siguiente de la línea. Existen varias formas de hacerlo: FIFO (PEPS-primero que entra, primero que sale), LIFO (UEPS-último que entra, primero que sale), Aleatorio (todos tienen la misma probabilidad de ser escogidos) y Rango (de acuerdo con cierta característica de la entidad).

USO DE COMPUTADORAS. LENGUAJES

Debido a la gran cantidad de cálculos numéricos requeridos - en la simulación digital, se hace necesaria la utilización - de computadoras electrónicas.

Dentro de los sistemas de programación de las computadoras, existen superlenguajes de propósito múltiple como son el -- FORTRAN, COBOL, ALGOL y PL/1, que pueden ser usados para resolver problemas de simulación, sin embargo, se ha observado que los problemas de simulación, tienen en sí, características muy específicas y repetitivas, por lo cual se han diseña do lenguajes especiales. Estos lenguajes además de estar - construidos con una cierta lógica que permite fácilmente implantar los problemas de simulación, tienen rutinas que son muy útiles, como son la generación de números aleatorios, - formación de tablas de frecuencia, cálculos de variables estadísticas, manejo de colas, etc.

Aunque es difícil poder decir cual es el lenguaje de simulación más adecuado para un determinado problema, se han hecho estudios comparativos de eficiencias de uso de lenguajes para determinados prototipos. Uno de los mejores estudios fue hecho por Teichroew comparando resultados del uso de los principales lenguajes para simulación discreta, que son: -- SIMSCRIPT, GPSS, GASP II, SIMULA y SIMPAC.

Shannon ha hecho un estudio lógico que permite a través de - un diagrama de flujo, escoger de acuerdo con las características del problema a ser resuelto, cual es el lenguaje de - computación más adecuado.

Los dos lenguajes más utilizados en la actualidad, son el - SIMSCRIPT y el GPSS, a continuación damos sus características principales :

a) GPSS. Estas iniciales representan: "General Purpose Simulation System". (Sistema de Simulación de Propósito General). Fue desarrollado originalmente por G. Gordon. El sistema a ser simulado, se describe como un diagrama de bloques, en que cada uno de los bloques representa una actividad, y las líneas que los unen representan la secuencia en que se van a ejecutar estas actividades. En algunos casos, de acuerdo con decisiones lógicas o comparaciones, la computadora selecciona uno de diferentes caminos que salen de un mismo bloque. Cada uno de los bloques tiene una notación diferente y una acción perfectamente definida.

Existen entidades dinámicas llamadas transacciones que son generadas con intervalos predefinidos por bloques del diagrama y que tienen ciertas características. Estas transacciones recorren el diagrama de bloque en bloque de acuerdo con el tiempo simulado, que es controlado por un 'reloj interno', el cual indica el tiempo real de la simulación. Existen dos tipos de equipos que pueden ser utilizados por las transacciones: Instalaciones, que pueden ser ocupadas por una transacción a la vez y almacenes, que pueden ser utilizados simultáneamente por varias transacciones. Al recorrer los bloques, las transacciones pueden ser detenidas en uno de ellos (por ejemplo, en caso de que una instalación esté en uso), o pueden tomar caminos alternos. Se puede asignar niveles de prioridad a las transacciones y hacer decisiones lógicas complejas durante la simulación.

Existen rutinas para generar números aleatorios, establecer funciones estocásticas, formar tablas de frecuencia, etc. Una transacción da por terminado su recorrido al llegar un bloque de terminación.

El GPSS automáticamente lleva estadísticas de colas, uso de instalaciones y almacenes, retrasos sufridos en el recorrido, etc., imprimiéndose éstas al final como resulta-

ANEXO # 1.

NUMEROS ALEATORIOS

DISTRIBUCION UNIFORME

3513	2883	5675	8101	7526	2251	5765	4334	4112	5664
6976	882	2501	7066	9890	5741	5434	928	6666	1641
9347	4311	7238	4632	2642	4166	1213	9783	7778	8621
1722	2741	945	998	7480	5897	8665	0313	9289	7013
3874	2020	7257	5356	6822	2726	4055	5105	6567	2650
6793	6904	233	9564	4834	2927	4052	7966	1325	6253
5587	7242	3170	3843	4524	2555	4612	4678	6553	7228
4368	1157	7628	5352	3463	2608	4477	3327	25	966
7740	9490	7272	8223	3880	9328	962	1810	2252	7136
2544	1043	3355	742	4256	8859	4846	9342	2434	526
1247	2749	5269	6867	3781	884	1270	9660	6531	2243
4679	7881	5173	108	4089	3558	4543	5234	515	5086
1275	3774	1169	3049	7772	9190	5186	8405	3757	6896
7556	3275	1614	384	7509	1596	1993	7590	7600	7283
5297	6238	9747	2344	6337	6919	4481	4618	7370	2662
9636	3854	6403	3730	4748	4918	6778	6404	7413	6846
4353	4503	7840	6510	8497	2388	7857	5648	3172	8196
627	9998	4341	6063	7311	9291	9951	6083	6935	6861
8749	743	5716	7602	4171	6603	2080	3047	9563	9952
3644	2297	979	5202	2397	7564	3808	4767	4330	3075
9475	9175	9776	6077	8476	6164	698	8712	5988	7513
1186	9497	6306	2359	7398	3158	2361	5744	3214	7581
6565	1153	7834	6623	9231	5779	1589	7522	829	7277
6196	1679	4311	753	5720	7541	3767	4733	4491	4348
5667	4871	8221	5485	8918	4139	4576	199	7	8252
9448	2418	9474	5075	5187	5440	5955	6771	7026	1217
4063	3423	3971	3013	2337	6903	382	162	7529	3713
4518	3687	1460	5569	276	1533	6711	6466	8391	2152
7392	4977	3333	5294	1228	537	2158	8113	9247	2466
1571	7234	9261	463	9424	2381	9463	5352	6938	3461
8226	8799	7860	7972	7086	769	838	8101	1064	3469
1237	6197	6048	517	8665	7335	6021	107	6454	7756
8451	900	9334	7905	3425	9400	5373	8834	2847	7572
~~9810~~	~~711~~	5972	9432	2847	2191	7518	~~5384~~	~~4643~~	~~9398~~
4602	3030	6755	3260	8760	3224	495	3958	9288	103
7028	1236	4165	3860	5677	9317	4807	4992	6684	5176
896	8789	4673	8931	1532	8808	9060	5086	8975	8075
7677	3382	1204	6779	9839	8019	9561	5185	5121	3969
7719	594	4086	9168	8233	6885	7211	1301	2909	5744
8276	7959	3268	7978	8449	8894	7320	3868	7327	9145
8928	1254	7176	1763	5995	98	6630	8902	3733	2282
92	15	9250	5397	9883	5916	3751	9260	1797	7443
8484	3912	7116	7486	873	7862	9314	5122	6901	5307
9730	611	6098	1085	1627	0	5353	2116	4353	8086
7810	4083	4207	8492	3085	2082	4723	9596	5065	4023

Shannon

do de la simulación.

b) SIMSCRIPT. Este lenguaje fue desarrollado por un equipo dirigido por H. M. Markowitz, en la Corporación Rand. Básicamente consiste en una rutina de tiempos que pone en funcionamiento las diferentes subrutinas que ejecutan las acciones de los eventos, tanto endógenos como exógenos. En esta rutina de tiempo se registran las ocurrencias futuras de eventos, y de acuerdo con el reloj de tiempo interno de la simulación, se van programando para que ocurran los eventos endógenos generados por la simulación en sí, y los exógenos generados externamente. El usuario debe escribir subrutinas cerradas en un lenguaje similar al FORTRAN, para cada evento. En estas subrutinas se cambia el estado del modelo de acuerdo con las características propias de cada evento.

El SIMSCRIPT tiene construidas rutinas para generación de números aleatorios, funciones para acumulación, funciones de tipo estadístico y un programa generador de reportes, que permite con gran facilidad presentar en forma adecuada los resultados de la simulación.

Aunque el SIMSCRIPT fue diseñado para fines de simulación, en realidad puede ser usado para problemas de tipo general de hecho la nueva versión llamada SIMSCRIPT II, contiene cinco niveles de programación que pueden servir para resolver desde problemas muy sencillos de aprendizaje de programación, hasta la solución de sistemas muy complejos de simulación.

BIBLIOGRAFIA

1. Gordon, G. "Systems Simulation". Prentice Hall. (1969)

2. Ackoff, R. L. y Sasieni, M. W.
"Fundamentals of Operation Research"
John Wiley & Sons. (1968).

3. Naylor, T. H., Balintfy, J. L., Burdick, D. S., y Chu, K.
"Computer Simulation Techniques",
John Wiley & Sons. (1969).

4. Shannon R. C., "Systems Simulation, The Art and Science",
Prentice Hall. (1975).

5. Kiviat, P. J., Villanueva R., y Markowitz H. M.
"The Simscript II Programming Languaje".
Prentice Hall. (1969).

6. "General Purpose Simulation System". User's Manual.
Publicación IBM M-20-0304-4

7. Pritsker, A. B. y Kiviat P. J. "Simulation with GASP II".
Prentice Hall. (1969).

8. Schriber, T., "Simulation using GPSS".
John Wiley & Sons. (1972).

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

TEMA:

ECONOMETRIA

PROF: DR. LEONEL CORONA

JULIO DE 1977.

I N D I C E

I. Econometría

1. Concepto
2. Método
3. Modelos

3.1 Variables
3.2 Relaciones o ecuaciones
3.3 Estructura de un modelo
3.4 Clases de modelos

II. Modelo lineal simple

1. Especificación del modelo lineal simple
2. Estimadores de mínimos cuadrados
3. Características de los estimadores de mínimos cuadrados
   3.1 Esperanza matemática
   3.2 Matriz de varianza-covarianza
4. Estimación por intervalos de confianza
   4.1 Intervalo de confianza de α
   4.2 Intervalo de confianza de β
   4.3 Intervalo de confianza de σ^2
5. Coeficiente de correlación
6. Análisis de varianza
7. Predicción

A N E X O S

ANEXO 1. Deducción de los estimadores de mínimos cuadrados del modelo lineal simple
ANEXO 2. Propiedad de insesgabilidad de los estimadores
ANEXO 3. Varianza y covarianza de los estimadores
ANEXO 4. Estimador de la varianza residual
ANEXO 5. Variación explicada y variación residual
ANEXO 6. Funciones de probabilidad X^2_{η}, t_{η} F (M, N)
ANEXO 7. Cálculo de la esperanza y la varianza del predictor .

II

Presentación

El tema de Econometría será presentada con base en un resumen de estos apuntes*, y para fines de mostrar sus aplicaciones se apoyará la exposición en el informe "Modelo econométrico para predecir la demanda de la construcción en México", Instituto de Ingeniería, No. 273, Sep. 1970.

---

* Estos apuntes se elaboran con base en notas del curso "Introducción a la Econometría" que se imparte en la División de Estudios Superiores de la Facultad de Economía por Andres Varela, Carlos Rojas y Leonel Corona.

I. ECONOMETRIA

1. Concepto

La econometría tiene por objeto desarrollar la teoría económica en su relación con la Estadística y la Matemática (Econometric Society).

La econometría consiste en la aplicación de la teoría económica matemática y de los métodos estadísticos a los datos económicos para establecer resultados numéricos en el campo de la economía y verificar los teoremas económicos (Tintner).

El método de la investigación econométrica intenta, esencialmente, unir la teoría económica y las mediciones reales, empleando la teoría y la técnica de la inferencia estadística como un puente (Haavelmo).

La Econometría es aquella rama de la ciencia económica que trata de cuantificar, es decir, de representar numéricamente las relaciones económicas, mediante una adecuada combinación de la teoría económica matemática y de la estadística. Las matemáticas representan el medio unificador, ya que cumplen la tarea de lenguaje o forma de expresión simbólica y, la de instrumento eficaz en el proceso deductivo (Barbachano).

La Econometría alcanza un significado mucho más amplio si las Matemáticas y la Estadística se definen en el sentido siguiente: las matemáticas enseñan la manera de deducir proposiciones de otras dadas y la Estadística el modo de obtener proposiciones de los hechos observados. Las matemáticas coinciden entonces con la lógica deductiva y la Estadística con la lógica inductiva (Marschak).

En la econometría cabe distinguir las siguientes fases (Valavanis)

1) Selección de la teoría económica de aquellas teorías, leyes o hipótesis particulares que se desee investigar:
2) Utilización de las matemáticas y la Estadística para especificar modelos matemáticos para su estimación y verificación.
3) Se regresa a la teoría económica para utilizar adecuadamente la expresión cuantificada de la teoría o modelo particular.

2.- Método.

1) Especificación o construcción del modelo matemático. El modelo está construído por un conjunto de relaciones matemáticas en las qué intervienen variables y parámetros.
2) Estimación estadística de sus parámetros. Con un número de observaciones correspondientes al fenómeno real al que se aplica el modelo se llega al conocimiento estimado de una determinada estructura.
3) Verificación de las hipótesis. Mediante criterios de la teoría estadística se acepta o rechaza el modelo y la teoría económica implicada.
4) Predicción mediante el uso del modelo si la teoría es aceptable. Con la hipótesis de permanencia estructural (o con hipótesis de cambio) se pueden deducir los comportamientos desconocidos, generalmente futuros.

3.- Modelos.

Modelos económicos

Un modelo es una representación simplificada de relaciones económicas (Sampedro).

Un modelo matemático es una imagen idealizada del mundo real, en que las interrelaciones entre las diferentes variables

económicas se representan con la ayuda del simbolismo matemático y el proceso ordinario de deducción se reemplaza por operaciones matemáticas (Cha kravarty).

Modelo económico es la expresión matemática de una determinada teoría económica (Barbancho).

Modelo es un conjunto de relaciones matemáticas (usualmente ecuaciones) que expresan una teoría económica (Valavanis).

Modelos econométricos.

Un modelo econométrico es uno económico que reune además un conjunto de especificaciones para que pueda aplicarse al estudio de un fenómeno concreto; es decir que es un modelo que contiene las especificaciones necesarias para su aplicación empírica; por tanto se distinguen de los modelos teóricos, que solo persiguen una expresión simbólica de una determinada teoría.

Formulación del modelo.

Un modelo queda formulado en cuanto se especifiquen las variables y las relaciones que los ligan; por tanto requiere (Barbancho):

1o. Delimitar el fenómeno o grupo de fenómenos que se va a estudiar.

2o. Localizar las variables.

3o. Establecer las relaciones existentes entre las variables.

4o. Tener una idea definida de la finalidad que ha de cubrir el modelo, lo cual influye en las especificaciones y por tanto en la selección de las variables y en el número y forma de las relaciones.

Considerando los obstáculos que tienen que vencer los modelos econométricos, estos poseen un mayor grado de "incompletitud".

3.1 variables

Las variables son factores o entes singulares de los fenómenos económicos. Pueden ser dependientes o endógenos e independientes o exógenos. Los primeros, son los que están situados dentro del modelo, es decir, los que el modelo se propone explicar; mientras que los exógenos son variables que inciden en las variaciones de los primeros.

Por tanto, el modelo trata de explicar las variables endógenas en función de los exógenas.

Variables con retardo, son las variables que se definen con retardos temporales, es decir, en períodos anteriores a otros correspondientes a períodos sucesivos. Esto permite denominar variables predeterminadas a las endógenas con retardo y a l s exógenas (con o sin retardo); es decir, sus valores están ya determinados es el momento que se pretende determinar los valores de los variables endógenos (Christ).

Variables latentes o no observables y variables observables, pueden existir variables que al mismo tiempo sean observables y latentes, cuya vinculación se dé por errores de observación. Un caso de variables latentes es el de perturbaciones que recogen las deficiencias o incompletitud del modelo.

Las estimaciones o residuos de estos variables implican supuestos probabilísticos de su distribución, que los convierte en variables aleatorias.

Variables Objetivo y variables instrumentales.

3.2 Relaciones o ecuaciones.

La teoría económica es la base para el establecimiento de las relaciones o ecuaciones. Estas pueden clasificarse en:

1o. Relaciones de comportamiento, explican el modo de actuar de los sujetos del sistema económico

2o. Relaciones tecnológicas, expresán las condiciones, posibilidades y restricciones de las fuerzas productivas.

3o. Relaciones normativas que contienen las leyes o normas institucionales en un modo de producción dado.

4o. Relaciones contables o definiciones, que se derivan de las identidades entre magnitudes económicas.

3.3 Estructura en un modelo

Una estructura se define mediante las formas funcionales de las ecuaciones y de los valores de sus parámetros.

$$f(y,z \; ; \; a) = 0$$

Así con cambio en la función, f, y/o en los parámetros, a, nos lleva a un cambio en la estructura del sistema económico.

3.4 Clases de modelos

- atendiendo al número de ecuaciones: uni ecuacionales o multi ecuacionales
- respecto a la forma de la función: lineales o no lineales (*)
- respecto al tiempo: modelos estáticos y dinámicos: son dinámicos si tienen variables endógenas retardadas (Christ). Estos no deben confundirse con los modelos estáticos comparativos que presentan equilibrios en el tiempo, pero cuyo proceso de cambio no está contenido en el modelo.
- en cuanto a sus relaciones con el exterior: abiertas o cerradas.

(*) Los modelos no-lineales se trata de linealizarlos mediante artificios matemáticos.

II Modelo lineal simple

En este apunte se presentan los métodos estadísticos básicos utilizados en la econometría a fin de establecer las bases que determinan las posibilidades y limitaciones de los modelos econométricos para fines explicativos, predictivos y normativos.

1. Especificación del modelo lineal simple

El modelo lineal simple se define de la siguiente forma:

$$Y_t = \alpha + \beta \ X_t + \mu_t \qquad (1)$$

donde X es variable exógena, Y endógena y μ es una variable aleatoria. α y β son los parámetros estructurales desconocidos y t es el período de observación.

El modelo se especifica con los siguientes postulados:

1) μ_t es una variable aleatoria que cumple con la función de recoger el conjunto de causas que no se encuentran explícitamente incorporadas en el modelo, tales como: a) Omisión de variables explicativas, b) errores de especificación en la estructura del modelo, c) errores de medición sobre las variables endógenas (se supone que las variables exógenas estan medidas sin error; en caso contrario, se presentan problemas adicionales de estimación que requieren un tratamiento estadístico específico).

2) $E(\mu_t) = 0$ para todo t, es decir que el conjunto de las causas recogidas por la variable aleatoria son tales que no sesgan la muestra estadística, o sea, su esperanza matemática es nula. Esto implica que los residuos (observaciones de μ_t) en promedio de compensan.

3) $E(\mu_t) = \sigma^2$ es decir que la varianza de la variable aleatoria es constante y finita para toda t. Si este principio no se cumple entonces se tiene una situación de heteroscedasticidad.

4) $E(\mu_t \mu_s) = COV(\mu_t, \mu_s) = E(\mu_t) E(\mu_s) = 0 \; ; \; s \neq t$

O lo que es lo mismo, la variable aleatoria μ_t no está autocorrelacionada. Es decir los valores que asume en t son independientes de los valores precedentes. El abandono de este supuesto da lugar a hipótesis de autocorrelación: por ejemplo una hipótesis de autocorrelación de primer orden se especifica, $\mu_t = \mu_{t-1} + v_t$, donde la variable aleatoria v_t cumple con el postulado independencia. Este postulado se somete a la corroboración empírica, para lo cual puede utilizarse el estadístico de Durbin-Watson (este estatístico se desarrollará posteriormente).

5) $E(\mu_t X_t) = E(\mu_t) E(X_t) = 0$; es decir que μ_t es independiente de las variables exógenas. Este postulado es básico, ya que su no cumplimiento lleva a estimadores por mínimos cuadrados sesgados y no consistentes*.

2. Estimadores de mínimos cuadrados

Una vez especificado el modelo lineal simple se pasa a la fase de estimar sus parámetros desconocidos α y β; es decir,

$$y_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta} + X_t + e_t \qquad (2)$$

---

* Los estimadores son insesgados si la esperanza matemática del estimador es igual al parámetro (desconocido): $E(\hat{\theta}) = \theta$, donde $\hat{\theta}$ es el estimador de θ. A su vez, los estimados insesgados son más eficientes si su varianza es menor que las de otros estimadores insesgados. La propiedad de consistencia del estimador $\hat{\theta}$ se refiere a que la probabilidad de que se diferencie del parámetro $\hat{\theta}$, disminuye a medida que aumenta la muestra.

donde $\hat{\alpha}$ es un estimador de α; y β es un estimador de $\hat{\beta}$; y_t y X_t representan un conjunto de observaciones que constituyen una muestra generada por el modelo (1), y por tanto, e_t, son los residuos que corresponden a las observaciones de la variable aleatoria μ_t. Los estimadores $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ se definen mediante propiedades deseables como son insesgabilidad, consistencia y eficiencia. Se ha demostrado que el método de mínimos cuadrados produce este tipo de estimadores (Además en el caso lineal corresponden a los estimadores de máxima verosimilitud).

Tomando una muestra de tamaño n, se tiene

$$(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \ldots (X_n, Y_n)$$

sus correspondientes medias aritméticas serán

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_i \quad , \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} Y_i$$

Ahora bien, en la fig 1.1 se observan una serie de puntos correspondientes a parejas de valores de la muestra inicial,

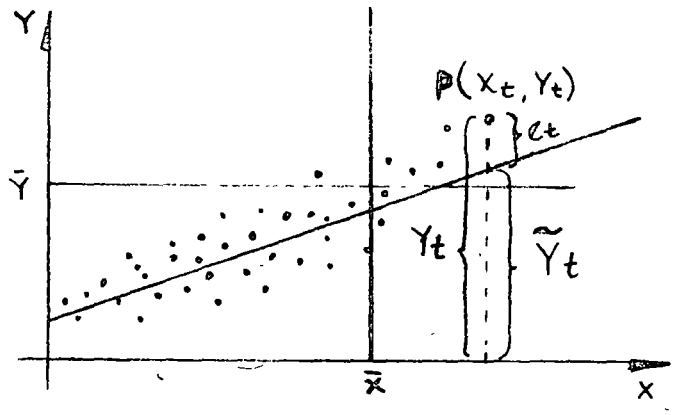


fig 1.1 Muestra y regresión del modelo lineal simple

$\hat{\alpha}$ se obtiene directamente de la condición de que la recta de regresión pasa a través de las medias

$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta}\,\bar{X} \tag{7}$$

otra forma análoga de calcular $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$, en función de las observaciones, es:

$$\hat{\alpha} = \frac{(\Sigma Y)\ (\Sigma X^2) - (\Sigma X)\ (\Sigma XY)}{n\ \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \tag{8}$$

y

$$\hat{\beta} = \frac{n\Sigma XY - (\Sigma X)\ (\Sigma Y)}{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \tag{9}$$

Los estimadores de α y β deducidos por aplicación del método de los mínimos cuadrados son lineales, insesgados y consistentes; en estas notas no se incluirá su demostración.

De forma similar (ver anexo 4) se obtiene el estimador de mínimos cuadrados de la varianza residual σ^2:

$$\hat{\sigma}^2 = y,t\sigma^2 = \frac{\Sigma\ e_t^2}{n-2} \tag{10}$$

3. Características de los estimadores de mínimos cuadrados

3.1 Esperanza matemática.

$$E(\hat{\alpha}) = \alpha$$

$$E(\hat{\beta}) = \beta \qquad (11)$$

lo que significa que los estimadores de mínimos cuadrados son insesgados (ver demostración en el anexo 2)

3.2 Matriz de varianza-covarianza

La matriz de varianza comienza de los estimados de mínimos cuadrados es

$$V(\hat{\alpha},\hat{\beta}) = \begin{bmatrix} \text{var } \hat{\alpha} & \text{cov}(\hat{\alpha},\hat{\beta}) \\ \text{cov}(\hat{\alpha},\hat{\beta}) & \text{var } \hat{\beta} \end{bmatrix}$$

donde (ver demostraciones en el anexo 3)

$$\text{var } \hat{\beta} = \frac{\sigma^2}{\Sigma x_t^2}$$

$$\text{var } \hat{\alpha} = \sigma^2 \frac{\Sigma X_t^2}{n\Sigma x_t^2} \qquad (12)$$

$$\text{cov } (\hat{\alpha},\hat{\beta}) = -\frac{\bar{X}}{\Sigma x_t^2}\sigma^2$$

4. Estimación por intervalos de confianza.

Para hacer una estimación de la probabilidad a nivel de confianza de que un estimado este dentro de un intervalo determinado se requiere un postulado adicional sobre la función de probabilidad de la variable eléctrica. En efecto:

Postulado 6. La variable aleatoria μ_t se distribuye normalmente con media cero y varianza σ^2, es decir,

$$\mu_t \overset{d}{=} N(0,\sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp(-\mu_t^2/2\sigma^2) \qquad (13)$$

A partir de este postulado se puede probar que los estimadores $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ son variables aleatorias, distribuidas normalmente de acuerdo con:

$$\hat{\alpha} \overset{d}{=} N\left(\alpha, \frac{\Sigma X_t^2}{n} \cdot \frac{2}{\Sigma X_t^2}\right)$$

$$\hat{\beta} \overset{d}{=} N\left(\beta, \frac{\alpha^2}{\Sigma x_t^2}\right) \qquad (14)$$

Por lo tanto para la muestra de hipótesis y estimación de intervalos se puede aplicar las funciones de probabilidad acumuladas X_n^2, tn. (ver anexo 5)

A partir de los estimadores de los parámetros incógnitos y de sus varianzas se pueden deducir intervalos de confianza y regiones de confianza para el conjunto (α,β).

4.1 Intervalos de confianza de α

$$t = \frac{\frac{x_i - \mu}{\sigma}}{\sqrt{\frac{1}{n}\frac{x_n}{}}} = \frac{\frac{\hat{\alpha} - \alpha}{\sigma_\alpha}}{\sqrt{\frac{1}{n-2}\frac{(n-2)\sigma^2}{\sigma^2}}} \qquad (14)$$

puesto que,

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\Sigma e_t^2}{n-2} \; ; \quad \frac{\Sigma e_t^2}{\sigma^2} = \frac{(n-2)\hat{\sigma}^2}{\sigma^2} = \chi^2_{n-2} \quad (*) \qquad (15)$$

Por otra parte la varianza de $\hat{\alpha}$ es,

$$\sigma_\alpha^2 = \sigma^2 \frac{\Sigma x_t^2}{n\Sigma x_t^2}$$

de donde $t = \frac{(\hat{\alpha}-\alpha)}{\hat{\sigma}} \frac{n\Sigma x_t^2}{\Sigma x_t^2}$, o sea que queda solamente en función del parámetro α. En efecto

$$t = \frac{\hat{\alpha}-\alpha}{\hat{\sigma}_\alpha} \; ; \quad \text{ya que,} \quad \hat{\sigma}_\alpha = \hat{\sigma} \frac{\Sigma X_t^2}{n\Sigma X_t^2}$$

Por tanto la probabilidad de que el estadístico t se encuentre en el intervalo $\pm t_{\varepsilon/2}$ es:

$$P\left| -t_{\varepsilon/2} < \frac{\hat{\alpha}-\alpha}{\hat{\sigma}_\alpha} < t_{\varepsilon/2} \right| = 1-\varepsilon$$

Lo anterior permite deducir el intervalo de confianza de α,

* Esto se debe a que e_t son las observaciones de la variable aleatoria $\mu_t \overset{d}{=} (0,\sigma^2)$, ver ec 13. De donde $\Sigma(\frac{e_t}{\sigma})^2$ tiene una distribución χ^2_{n-2} (Recordando que dos grados de libertad se han aplicado a la estimación de $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$)

$$P\left| \hat{\alpha}-t_{\varepsilon/2}\hat{\sigma}_{\alpha} < \alpha < \hat{\alpha}+t_{\varepsilon/2}\hat{\sigma}_{\alpha} \right| = 1-\varepsilon \qquad (16)$$

Las observaciones muestrales se distribuyen al azar alrededor de la recta de regresión $(\hat{\alpha}+\hat{\beta}X)$. Pero los parámetros α y β son desconocidos, y se estiman a partir de una muestra generada perteneciente al modelo (1).

Se desea pasar una línea a través de las observaciones, tal que esa línea tenga la forma $\alpha+\beta X$; la recta estimada se denota por

$$\hat{Y}_t = \hat{\alpha}+\hat{\beta}X_t \qquad (3)$$

donde, $\hat{Y}$, es la ordenada a la recta de regresión para algún valor dado de X

Para encontrar la recta de regresión se deberán desarrollar fórmulas idóneas para encontrar los valores de $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ a partir de las observaciones muestrales.

En la fig. 1-1, tomamos un punto P cualquiera, de coordenadas (X_t,Y_t); trazamos una perpendicular desde P al eje X; de la figura se observa que

$$e_t = Y_t-\hat{Y}_t \qquad (4)$$

es decir, los residuos o también denominados desviaciones de la recta de regresión podrán tener valores positivos o negativos dependiendo de la situación particular de cada punto que se cuestione. Si esos residuos son elevados al cuadrado y sumados, el

resultado obviamente deberá ser positivo y variará su valor dependiendo de la dispersión de los n puntos alrededor de la recta.

El método de los mínimos cuadrados se basa en el principio de estimar los parámetros que minimicen la suma de los cuadrados de los residuos ($\sum_{i=1}^{n} e_i^2$), entre las observaciones Y_t y la recta de regresión buscada, es decir

$$\underset{\hat{\alpha},\hat{\beta}}{\text{Min}}\ f(\hat{\alpha},\hat{\beta}) = \sum_{t=1}^{n} e_t^2 \qquad (5)$$

los estimadores de mínimos cuadrados resultan ser (ver en el anexo 1 los pasos matemáticos):

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{t=1}^{n} x_t y_t}{\sum_{t=1}^{n} x_t^2} \qquad (6)$$

donde

$$y_t = Y_t - \bar{Y}$$

$$x_t = X_t - \bar{X}$$

4.2 Intervalo de confianza de β

$$t = \frac{\frac{\hat{\beta}-\beta}{\sigma_{\beta}}}{\sqrt{\frac{1}{n-2}\frac{(n-2)\sigma^2}{\sigma^2}}} = \frac{\hat{\beta}-\beta}{\hat{\sigma}/\sqrt{\Sigma X_t^2}}$$

Sea

$$\hat{\sigma}_\beta^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{\Sigma X_t^2} \; ; \qquad \hat{\sigma}_\beta = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{\Sigma X_t^2}}$$

entonces; $t = \frac{\hat{\beta}-\beta}{\hat{\sigma}_\beta}$; estadístico que permite establecer el intervalo de confianza de β:

$$P\left| \hat{\beta}-t_{\varepsilon/2}\hat{\sigma}_\beta < \beta < \hat{\beta}+t_{\varepsilon/2}\hat{\sigma}_\beta \right| = 1-\varepsilon \qquad (17)$$

4.3 Intervalo de confianza de σ^2

De la ec. 10 se tiene,

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\Sigma e_t^2}{n-2}$$

y tomando las ecs. 15

$$\frac{e_t^2}{\sigma^2} = \frac{(n-2)\hat{\sigma}^2}{\sigma^2} = x_{n-2}^2$$

se obtiene el estadístico x^2 que permite establecer el intervalo de confianza

$$P\left| x_{1-\varepsilon/2}^2 \leq \frac{(n-2)\hat{\sigma}^2}{\sigma^2} \leq x_{\varepsilon/2}^2 \right| = 1-\varepsilon$$

de donde se obtiene el intervalo para σ^2

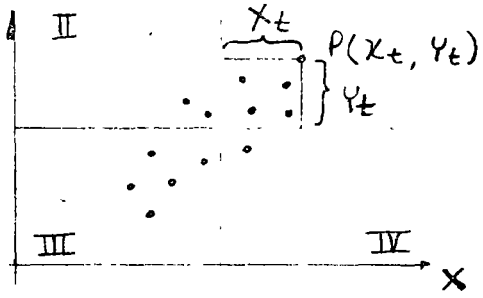
$$P\left| \frac{(n-2)\hat{\sigma}^2}{x_{\varepsilon/2}^2} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-2)\hat{\sigma}^2}{x_{1-\varepsilon/2}^2} \right| = 1-\varepsilon$$

5. Coeficiente de correlación

Una medida de la relación de dependencia lineal entre dos variables la ofrece el coeficiente de correlación

Sea

X_t, Y_t observaciones, en donde $t = 1,2,...n$, que son representadas en la figura 1.2



al dividir el diagrama en 4 cuadrantes, mediante perpendiculares a los ejes X y Y. Para cualquier punto de coordenadas $P(X_i,Y_i)$ se definen sus desviaciones por

$$x_t = X_t - \bar{X}$$

$$y_t = Y_t - \bar{Y}$$

se observa que:

Para todos los puntos en el cuadrante I, el producto $x_t \bar{y}_t$ es positivo

Para todos los puntos en el cuadrante II, el producto $x_t y_t$ es negativo

Para todos los puntos en el cuadrante III, el producto $x_t y_t$ es positivo

Para todos los puntos en el cuadrante IV, el producto $x_t y_t$ es negativo

De aquí que $\sum_{i=1}^{n} x_t y_t$ sirva como una medida de asociación entre X y Y: ahora bien, si no existe ninguna relación entre X y Y, los puntos estarán dispersos en los cuatro cuadrantes y $\sum_{i=1}^{n} x_t y_t$ tenderá a ser muy pequeña.

Se hace notar que la medida de asociación tiene dos defectos, el valor numérico puede ser incrementado arbitrariamente mediante la suma de otras observaciones y, también es arbitrariamente influenciado por las unidades dimensionales de X y Y.

Esos defectos pueden ser corregidos expresando los desviadores en unidades de desviaciones estándares

El coeficiente de correlación (r) se define

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_t y_t}{n S_x S_y} \qquad (18)$$

donde

$$S_x = \sqrt{\frac{\Sigma x_t^2}{n}} \qquad \text{y} \qquad S_y = \sqrt{\frac{\Sigma y_t^2}{n}}$$

una forma alternativa para el cálculo de r es

$$r = \frac{\Sigma_{xy}}{\sqrt{(\Sigma x^2)(\Sigma y^2)}} = \frac{n\Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}\ \sqrt{n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2}} \qquad (19)$$

el estimador $\hat{\beta}$, también puede expresarse en función de r

$$\hat{\beta} = \frac{\Sigma_{xy}}{\Sigma x^2} = r \frac{S_y}{S_x}$$

otra expresión útil, es (ver demostración en el anexo 5)

$$\Sigma y_t^2 = \Sigma \hat{y}_t^2 + \Sigma e_t^2 \qquad (20)$$

La expresión anterior nos señala la variación total de los valores de Y alrededor de su media $(\bar{Y})$, la ec. puede ser dividida en dos partes para realizar un análisis más sencillo

La primera componente $(\Sigma \hat{y}_i^2)$ es la variación de los valores de $\hat{Y}$ alrededor de su media $\bar{\hat{Y}}$ y consiste en la variación debida a la regresión o explicada por la regresión.

La segunda componente es la variación residual no explicada por la regresión

A partir de

$$\Sigma y_i^2 = \Sigma \hat{y}_i^2 + \Sigma e_i^2$$

se deduce

$$\frac{\Sigma \hat{y}_i^2}{\Sigma y_i^2} = \frac{\Sigma (\hat{\beta} x_i)^2}{\Sigma y_i^2} = \hat{\beta}^2 \frac{\Sigma x_i^2}{\Sigma y_i^2} = r^2$$

El cuadrado del coeficiente de correlación se le denomina coeficiente de determinación.

Cambiando la ecuación anterior y $\Sigma y_i^2 = \Sigma \tilde{y}_i^2 + \Sigma e_i^2$

Se puede obtener

$$r^2 = 1 - \frac{\Sigma e_i^2}{\Sigma y_i^2}$$

claramente se observa que el máximo valor de r^2 deberá ser la unidad, lo cual ocurrirá cuando $\Sigma e_i^2 = 0$, o sea, cuando no existan residuos y los puntos de la muestra $(X_1Y_1),(_2Y_2)\ldots(x_nY_n)$ caigan precisamente sobre la recta de regresión.

Como el coeficiente de determinación, el valor máximo que puede asumir es la unidad,

$$r^2_{max} = 1$$

$$r = \pm 1$$

Esto quiere decir que el coeficiente de correlación asumirá valores en el intervalo $-1 \leq r \leq 1$

Si r=-1, existe una correlación negativa perfecta entre las variables.

Si r=1 existe una correlación positiva perfecta entre las variables, en ambos casos la variación residual es nula.

Si r es negativo, a valores crecientes de X corresponden valores decrecientes de Y.

Si r es positiva, a valores crecientes de X corresponderán valores crecientes de Y.

6. Analisis de Varianza

El estadistico F(m,n) con m y n grados de libertad (ver anexo 6) permite construir regiones de confianza sobre el conjunto de los parámetros $(\hat{\alpha}\ \hat{\beta})$ Asimismo, se pueden hacer pruebas parciales sobre uno de ellos, ya que si la elipse construida para un nivel de confianza cruza el eje de $\hat{\alpha}$ o $\hat{\beta}$ entonces se acepta la hipótesis nula para $\hat{\alpha}$ o $\hat{\beta}$ respectivamente; y n contiene el origen para ambos.

El estadistico correspondiente a la regresión lineal simple es el siguiente:

$$F(\alpha,n-2) = \frac{Q_{1/2}}{Q_2/n-2} \qquad (21)$$

donde $Q_1 = \Sigma\hat{y}_t^2 = \hat{\beta}\Sigma X_t^2$; y $Q_2 = \Sigma e_t^2$

y por la ec 20: $\Sigma y_t^2 = Q_1 + Q_2$, es decir, una parte de variación se explica por las regresión Q_1, y otra por los residuos.

En conclusión, la hipóteis de que X_1 Y no guardan ninguna relación ($\beta=0$), puede ser probada mediante el cálculo de F, rechazando la hipótesis con el 100% de confianza si $F > F_e$ estos cálculos generalmente se realizan en una tabla.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Medios cuadrados
X	$Q_1 = \Sigma \hat{y}_i^2$	1	$\Sigma \hat{y}_i^2$
Residuos	$Q_2 = \Sigma e_i^2$	n-2	$\Sigma e_i^2/n-2$
Total	$\Sigma_y^2 = Q_1 + Q_2$	n-1	

7. Predicción

La predicción puede realizarse de forma puntual estimando valores de $\hat{Y}_t$, fuera de la muestra, o bien, por intervalos para un cierto nivel de confianza. El problema se plantea predecir Y_o para un valor X_o, dado; entonces el modelo se plantea.

$$Y_o = \alpha + \beta X_o + \mu_o \qquad (22)$$

y mediante los estimadores $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ se tiene:

$$Y_o = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X_o + e_o = \hat{Y}_o + e_o \qquad (23)$$

Donde $\hat{Y}_o$ es la estimación predictiva de Y_o.

Este estimador es insesgado, $E(\hat{Y}_o) = Y_o$; y su varianza es*

$$\text{var } \hat{Y}_o = \sigma^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{(X_o - \bar{X})^2}{\Sigma X_t^2}\right) \qquad (24)$$

Por tanto se puede construir el estadistico t

$$t = \frac{\hat{Y}_o - Y_o}{\text{var } \hat{Y}_o}$$

---

* Ver demostración en el anexo 7

Y de aquí definir el intervalo de predicción para un nivel de confianza $1 - \varepsilon$,

$$P_r\left(\hat{Y}_o \pm t_{\varepsilon/2}\,\hat{\sigma}\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X_o - \bar{X})^2}{\Sigma X^2}}\right) \qquad (25)$$

ANEXO 1. Deducción de los estimadores de mínimos cuadrados de un modelo lineal simple.

Los estimadores de minimos cuadrados cumplen con la condición

$$\underset{\alpha,\beta}{\text{Min}}\ f\ (\hat{\alpha},\hat{\beta}) = \sum_{t} (Y_t - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_t)^2 \qquad A(1)$$

para que esto se cumpla, una condición necesaria es que las derivadas parciales de la suma con respecto a $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ deberán ser igual a cero

$$\frac{\partial}{\partial\hat{\alpha}} \sum_{i=1}^{n} e_i^2 = \frac{\partial}{\partial\hat{\alpha}} \sum_{t=1}^{n} (Y_t - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_t)^2 = -2 \sum_{t=1}^{n} (Y_t - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_t) = 0 \qquad A(2)$$

$$\frac{\partial}{\partial\hat{\beta}} \sum_{i=1}^{n} e_i^2 = \frac{\partial}{\partial\hat{\beta}} \sum_{t=1}^{n} (Y_t - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_t)^2 = -2 \sum_{t=1}^{n} X_t (Y_t - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_t) = 0 \qquad A(3)$$

simplificando se tendrá

$$\sum_{t=1}^{n} Y_t = n\hat{\alpha} + \hat{\beta} \sum_{t=1}^{n} X_t \qquad A(4)$$

$$\sum_{t=1}^{n} X_t = \hat{\alpha} \sum_{t=1}^{n} X_t + \hat{\beta} \sum_{t=1}^{n} X_t^2 \qquad A(5)$$

Si dividimos la ec. 4 por n se obtendrá

$$\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} Y_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} X_t$$

$$\therefore \quad \bar{Y}_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\bar{X}_t \qquad A(6)$$

Esto quiere decir que, los estimadores de mínimos cuadrados son tales que la recta estimada pasa a través del punto de medias $(\bar{X}, \bar{Y})$.

ahora, si restamos la ec. 6 de la ec. 2, se obtiene

$$Y = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\bar{X}$$

y

$$\hat{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X$$

$$\therefore \quad \hat{Y} - \bar{Y} = \hat{\beta}(X - \bar{X}) \qquad (7)$$

si hacemos

$$\hat{Y} - \bar{Y} = \hat{y}_t$$

$$X_i - \bar{X} = x_t$$

$$Y_i - \bar{Y} = y_t$$

se tendrá

$$\hat{y}_t = \hat{\beta}\, x_t \qquad (8)$$

de la ec. 3

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t$$

despejando de 8, $\hat{Y}$ y sustituyendola en la ec. anterior se tiene

$$e_t = Y_t - \hat{\beta}\, x_t$$

así pues

$$\sum_{i=1}^{n} e_t^2 = \sum_{i=1}^{n} (Y_t - \hat{\beta}\, X_t)^2$$

minimizando esta última expresión con respecto a $\hat{\beta}$ se obtiene

$$\hat{\beta} = \frac{\Sigma\, x_t\, y_t}{\Sigma x_t^2} \qquad (9)$$

ANEXO 2 Propiedad de insesgabilidad de los estimadores

1) Estimador $\hat{\beta} = \frac{\Sigma x_t \, y_t}{\Sigma x_t^2}$

$$\hat{\beta} = \frac{\Sigma x_t (\beta x_t + \mu_t - \bar{\mu}}{\Sigma x_t^2}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\beta \Sigma x_t^2 + \Sigma x_t \mu_t - \bar{\mu} \, \Sigma x_t}{\Sigma x_t^2}$$

pero como $\Sigma x_t = 0$, se tiene

$$\hat{\beta} = \beta + \frac{\Sigma x_t \mu_t}{\Sigma x_t^2}$$

entonces la esperanza matemática se tiene,

$$E(\hat{\beta}) = \beta + \frac{\Sigma x_t}{\Sigma x_t^2} \; \Sigma \; E(\mu_t)$$

pero por el postulado 2

$$E(\hat{\beta}) = \beta$$

2) estimador de $\hat{\alpha} = \bar{X} - \hat{\beta} \, \bar{X}$

$$\hat{\alpha} = (\alpha + \beta \bar{X} + \bar{\mu}) - \hat{\beta} \bar{X}$$

$$E(\hat{\alpha}) = \alpha + \beta\bar{X} + E(0) - \bar{X}\, E\ (\hat{\beta})$$

$$= \alpha + \beta\bar{X} - \bar{X}\beta$$

$$E\ (\hat{\alpha}) = \alpha.$$

ANEXO 3 Varianza y covarianza de los estimadores

1. $\text{var } \hat{\beta} = E(\hat{\beta} - \beta)^2 = E(^{\Sigma X_t \mu_t}/\Sigma X_t^2)^2$

$$= \frac{1}{(\Sigma X_t^2)^2} E\ (\Sigma X_t \mu_t)^2$$

$$= \frac{1}{(\Sigma X_t^2)^2} E \mid \Sigma X_t^2 E(\mu_t^2) + \sum_{t \neq} X_t X\ E(\mu \varepsilon \mu\ ) \mid$$

por los postulados 2, 3 y 4 se tiene

$$E(\mu_t\ ) = \sigma^2$$

$$E(\mu_t \mu\ ) = 0 \quad S \neq t$$

por tanto

$$\text{var } \hat{\beta} = \frac{\sigma^2}{\Sigma X_t^2}$$

2. $\text{var } \hat{\alpha}$

$$\text{var } \hat{\alpha} = E(\hat{\alpha} - \alpha)^2 = E \mid (\bar{\mu} - \hat{\beta} - \beta)\ \bar{X} \mid^2$$

$$= E(\bar{\mu}^2) - 2\bar{X}\ E(\hat{\beta} - \beta)\ \bar{\mu} + \bar{X}^2\ E(\hat{\beta} - \beta)^2$$

pero como $E(\hat{\beta} - \beta)\ \bar{\mu} = E(\hat{\beta}\ \bar{\mu}) - \beta E$

$$= E\ \left(\beta + \frac{\Sigma X_t\ \mu_t}{\Sigma X_t^2}\right)\ \bar{\mu}$$

$$= \beta o(\bar{\mu}) - \frac{1}{\Sigma X_t^2}\ E\ (\bar{\mu} o X_t \mu_t) = 0$$

Entonces

$$\text{var}\ \hat{\alpha} = \sigma^2\ \frac{\Sigma X_t^2}{n \Sigma X_t^2}$$

3. $\text{cov}\ (\hat{\alpha}, \hat{\beta}) = e\ (\hat{\alpha} - \alpha)\ (\hat{\beta} - \beta)$

$$= E\ |\ \bar{\mu} - (\hat{\beta} - \beta)\ \bar{X}\ |\ (\hat{\beta} - \beta)$$

$$= E\ (\hat{\beta} - \hat{\beta})\ \bar{\mu} - \bar{X}\ E\ (\hat{\beta} - \beta)^2$$

$$= -\bar{X}\ \text{var}\ \hat{\beta} = -\ \frac{\bar{X}\ \sigma^2}{\Sigma X_t^2}$$

Anexo 4 Estimador de la varianza residual

A partes de las ecuaciones

$$\bar{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\ \bar{X} \qquad \text{(ec A 6)}$$

$$Y_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\ X_t + e_t \qquad \text{(ec 2)}$$

se obtiene por resta,

$$Y_t = \hat{\beta}\ X_t + e_t$$

además

$$Y_t = \beta X_t + (\mu_t - \bar{\mu})$$

igualando y despejando e_t

$$e_t = (\mu_t - \bar{\mu}) - (\hat{\beta} - \beta)\ X_t$$

elevando al cuadrado ambos miembros y sumando

$$\Sigma e_t^2 = \Sigma\ (\mu_t - \bar{\mu})^2 - 2(\hat{\beta} - \beta)\ \Sigma\ (\mu_t - \bar{\mu})\ X_t + (\hat{\beta} - \beta)^2\ \Sigma\ X_t^2$$

$$= \Sigma\ (\mu_t - \bar{\mu})^2 - 2(\hat{\beta} - \beta)\ \Sigma\ X_t\mu_t + (\hat{\beta} - \beta)^2\ \Sigma X_t^2$$

pero $\Sigma X_t \mu_t = (\hat{\beta} - \beta) \Sigma X_t^2$

reemplazando

$$\Sigma e_t^2 = \Sigma (\mu_t - \bar{\mu})^2 - (\hat{\beta} - \beta)^2 \Sigma X_t^2$$

tomando esperanza matemática

$$E(\Sigma e_t^2) = \Sigma E(\mu_t - \bar{\mu})^2 - (\Sigma X_t^2) E (\hat{\beta} - \beta)^2$$

$$= n \frac{n - 1}{n} \sigma^2 - (\Sigma X_t^2) \text{ var } \hat{\beta}$$

de aquí se obtendrá

$$\sigma^2 = E \left(\frac{\Sigma e_t^2}{n-2} \right)$$

de donde resulta

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\Sigma e_t^2}{n-2}$$

Anexo 5 Variación explicada y variación residual

Demostrar que $\Sigma y_t^2 = \Sigma \hat{y}_t^2 + \Sigma e_t^2$ (de 15)

De (4) se tiene $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$

de donde $e_t = y_t - \hat{y}_t$

$$y_t^2 = (e_t + \hat{y}_t)^2 = e_t^2 + y_t^2 + 2e_t\hat{y}_t$$

por tanto

$$\Sigma y_t^2 = \Sigma e_t^2 + \Sigma \hat{y}_t^2 + 2\Sigma e_t \hat{y}_t \qquad (5.1)$$

Por otra parte

$$\hat{Y}_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X_t \quad \text{(de 3)}$$

$$\bar{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} \bar{X} \quad \text{(de 7)}$$

$$\hat{Y}_t = \hat{\beta} x_t \quad \text{y} \quad y_t = \hat{\beta} x_t + e_t \qquad (5.2)$$

Sustituyendo estos resultados en las deducciones siguientes se obtiene

$$\Sigma e_t \hat{y}_t = \Sigma (y_t - \hat{\beta} x_t)\ (\hat{\beta} x_t) = \hat{\beta}\ \Sigma (y_t x_t - \hat{\beta} x_t^2)$$

pero como $\hat{\beta} = \Sigma y_t X_t / \Sigma X_t^2$ (de 6), entonces

$$\Sigma y_t X_t - \hat{\beta} \Sigma X_t^2 = 0$$

y por tanto $$\Sigma e_t \hat{y}_t = 0 \qquad (5.3)$$

Sustituyendo 5.3 en 5.1 se tiene

$$\Sigma y_t^2 = \Sigma \hat{y}_t^2 + \Sigma e_t^2$$

Anexo 6. Funciones de probabilidad X_n^2, t_n y $F(m,n)$

a) X_n^2 : Dadas n variables aleatorias normales, $X_1, X_2, \ldots, X_n$ independientes entre sí y distribuidas con medias μ y varianza σ^2 entonces la variable

$$X_n^2 = \Sigma \left(\frac{X_t - \mu}{\sigma}\right)^2 = \Sigma y_t^2$$

tiene una distribución X-cuadrada de Pearson con n grados de libertad. Esta función se encuentra ampliamente tabulada.

b) t de Student. Dadas n variables aleatorias X_1^2, $X_2^2, \ldots, X_n^2$ independientes y distribuidas con X^2 y n grados de libertad; y una variable X_o distribuida normalmente con media m y varianza σ^2 entonces

$$t_n = \frac{X_o - \mu}{\sigma} \Big/ \sqrt{X_n^2 / n}$$

tiene una distribución t - de student con n grados de libertad.

c) $F(m,n)$ de Fisher-Snedecor. Dadas m + n variables aleatorias normales $X_1, X_2, \ldots, X_m, Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$ independientes y distribuidas con media μ y varianza σ^2, entonces la variable

$$F(m,n) = \frac{1}{m} \Sigma \left(\frac{X_t - \mu}{\sigma}\right)^2 \Big/ \frac{1}{n} \Sigma \left(\frac{Y_t - \mu}{\sigma}\right)^2 = nX_m^2 / mX_n^2$$

tienen una distribución $F(m,n)$ de Fisher-Snedecor con m y n grados de libertad.

Anexo 7. Calculo de la esperanza y varianza del predictor $\hat{Y}_o$.

7.1 Esperanza de $\hat{Y}_o$

$$E(\hat{Y}_o/X_o) = E(\hat{\alpha} + \hat{\beta} X_o) = E(\hat{\alpha}) + X_o E(\hat{\beta})$$

$$= \alpha + \beta X_o = Y_o$$

7.2 Varianza de $\hat{Y}_o$

$$\text{var } \hat{Y}_o = E \left[\hat{Y}_o - E (\hat{Y}_o/X_o) \right]^2$$

$$= E \left[(\hat{\alpha} - \alpha) + (\hat{\beta} - \beta) X_o \right]^2$$

$$= \text{var } \hat{\alpha} + 2X_o \text{ cov } (\hat{\alpha},\hat{\beta}) + X_o^2 \text{ var } \hat{\beta}$$

$$\text{var } \hat{y}_o = Y_o = \sigma^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{(X_o - \bar{X})^2}{\Sigma X_t^2} \right)$$

Referencia.

1) Barbancho "Fundamentos y posibilidades de la econometría", Ariel 1962.

2) Chakravasty "The logic of investment plannning" North. Holand, 1959.

3) Crist "Modelos y métodos econométricos", Limusa, 1973.

4) Dagum, C y Bee, E "Introducción a la econometría", Siglo XXI, 1971.

5) Haavelmo "La teoría probabilística en economía", Revista de economía política, junio-dicienbre 1956.

6) Johnston, "Econometric Methods", Mc Graw-Hill

7) Marschak "Introduction to econometrics" University of Buffalo, 1948.

8) Tintner "Econometrics, Wiley, N.Y. 1952.

9) Sampedro "Realidad económica y análisis estructural", Aguilar, 1959.

10) Valavanis "Econometrics "Mc Graw-Hill, Nueva York, 1959.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ECONOMETRIA (Continuación)

DR. LEONEL CORONA TREVIÑO

SEPTIEMBRE, 1977

Fundamentos y aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas.

TEMA: ECONOMETRIA.

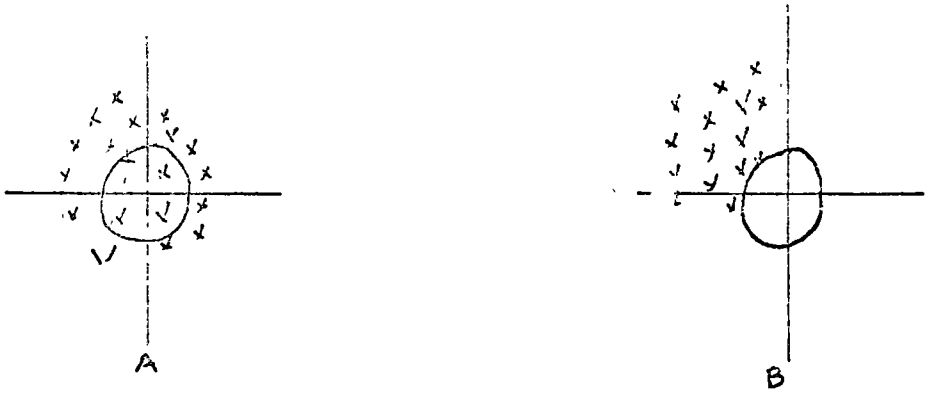
Prof. Dr. LEONEL CORONA

ANEXO COMPLEMENTARIO

Este anexo complementario tiene por objeto aclarar los conceptos de sesgo y eficiencia de los estimadores estadísticos (ver nota de la pag. 7 de los apuntes).

1. Sesgo. Un estimador es insesgado si su esperanza matemática es igual al parámetro verdadero. Sea el estimador de , entonces $E(\hat{\theta}) = \bar{\theta}$

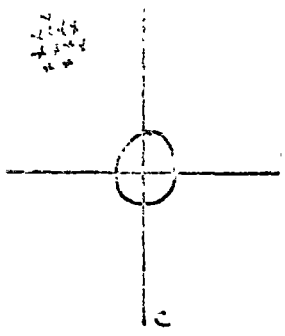
Mediante una homología se puede abundar sobre este concepto:



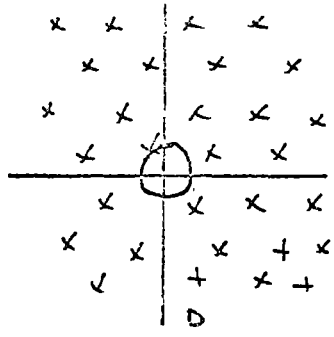
Es decir, si consideramos dis tiradores A y B, que tratan de dar al blanco (parámetro a estimar), cada tiro puede representar un estimador $\hat{\theta}$. Es claro que el tirador B es sesgado, y por tanto, se prefiere el tirador A. La estadística trata de obtener, en general estimadores insesgados. Por ejemplo, los estimadores de mínimos cuadros son insesgados.

2. Eficiencia. Este concepto es relativo, o sea que un estimador es más eficiente que otro si su varianza, $E(\hat{\theta}-\bar{\theta})^2$, es menor. Por tanto, la estadística trata de obtener los estimadores mas eficientes que correspondan a los de

mínima varianza. Utilizando la homología de los tiradores se tiene:



C



D

El tirador C es más eficiente que el D ya que concentra más los puntos, es decir, tienen menor varianza o dispersión,* sin embargo, es sesgado.

En general, cuando no es posible obtener estimadores insesgados y eficientes son preferibles los eficientes con corrección del sesgo. Por lo que de los casos A, B, C y D se prefería el C, con corrección del sesgo (es decir, ajustando la "mira").

---

* En efecto, $\frac{1}{n}\sum(\hat{\theta}_i - \bar{\theta})^2$ es menor en el caso de C que en D.

... DE ERRATAS

Pag. 3

dice	debe decir
1o. Delimitar...	1o. Delimitar
2o. Localizar ...	2o. tener una idea
3o. Establecer ...	3o. Localizar
4o. Tener una idea...	4o. Establecer

Pag. 4

"incompletitud"	"incompletez"
Variables objetivo...	Desarrollar Variables Objetivo...

Pag. 7

los estimados insesgados..	los estimadores insesgados

Pag. 9

Debería continuar la sección marcada entre corchetes

sin las correcciones anteriores en la Pag. 9, si continuamos se tendría

Pag. 9

$$\hat{\sigma}^2 = \text{var}\,\sigma^2 = \frac{\sum e_t^2}{n-2} \qquad (9)$$

$$\hat{\Sigma}' = \text{cov}\,\sigma^2 = \frac{\sum e_t^2}{n-2} \qquad (10)$$

Pag. 10

la matriz de novionza-comienza	la matriz de novianza-conovianza

varianza-covarianza

Pag. 4

variable eléctrica

x'_n

tn (ver nota)

variable aleatoria

$\tilde{x}'_n$

t_n (ver nota)

Pag. 12

x^2_n

χ^2_n

Pag. 15

$\hat{\sigma}^2_{\hat{x}} = \frac{\hat{\sigma}^2}{= \chi^2_n}$

$\hat{\sigma}^2_{\hat{x}} = \frac{\hat{\sigma}^2}{\chi^2_n}$

Pag. 31

A partes

A partir

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ANALISIS DE DECISIONES

CAP. 6 ELEMENTOS DE LA TEORIA ESTADISTICA DE DECISIONES

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

Junio - Julio de 1977

ELEMENTOS DE LA TEORIA ESTADISTICA DE DECISIONES

Por Octavio A. Rascón Ch. *

*Jefe de la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería, UNAM, e Investigador del Instituto de Ingeniería, UNAM

CAPITULO 6

Por Octavio A. Rascón Ch. *

ELEMENTOS DE LA TEORIA ESTADISTICA DE DECISIONES

6.1 *Introducción*

Una de las ramas de la estadística es la *inferencia estadística*; en ella se utiliza únicamente la información que proporciona una muestra de la población bajo estudio para inferir algunas de sus características, tales como la media, la variancia, etc. En el proceso de inferir alguno de estos parámetros suele realizarse una *prueba de hipótesis*, en la cual se *toma la decisión* de adoptar una *acción*: aceptar o rechazar la hipótesis nula con un cierto nivel de confianza. Por ejemplo, después de probar una muestra de un material manufacturado, tal como el acero de refuerzo para concreto, podemos inferir el porcentaje de elementos que no cumplen con la especificación bajo prueba; sin embargo, lo que más interesa es contar con un criterio o *regla de decisión* para aceptar o rechazar, con base en una muestra, un lote de dicho producto.

Situaciones como ésta, y aún más generales, tiene que afrontar a menudo un economista o un ingeniero en su práctica profesional; ejemplos de ellas son:

i) Seleccionar las dimensiones de un vertedor de demasías de una presa, tomando en cuenta que el flujo futuro máximo no se conoce con certeza.

ii) Decidir a qué planta premezcladora de concreto hacer un pedido para construir la carpeta de una carretera,

*Jefe de la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

tomando en cuenta las diferencias en precio y control de calidad que se tienen en cada una.

iii) Decidir qué cantidad de cierto producto elaborado hay que tener en inventario, si tanto la demanda como la producción son aleatorias.

iv) Decidir la trayectoria de una carretera, tomando en consideración que no se conoce con certeza el potencial económico de los sitios que cruzará, y que su longitud y las distancias a los bancos de materiales serán diferentes en cada caso.

Un factor importante que debe considerarse al tomar una decisión es la evaluación, en una escala cuantitativa, de las *consecuencias* que se tendrían al adoptar las diversas acciones. Puesto que los responsables de tomar una decisión están generalmente interesados en los costos y beneficios (no necesariamente en escala monetaria), el criterio de decisión deberá basarse en el costo o beneficio esperado para cada acción.

En general, la persona que va a tomar una decisión deberá considerar los factores económicos, las diversas técnicas existentes para resolver el problema, las necesidades humanas, sociales o científicas, etc., para seleccionar la acción que optimice la esperanza del beneficio (o utilidad) derivado de la obra.

Resumiendo, los factores que se deben considerar durante el proceso de tomar una decisión son (ref 1):

i) *Un objetivo*. Sin un objetivo no hay nada acerca de qué

...

decidir. Los objetivos varían ampliamente de una situación a otra, y pueden ser tales como: costo inicial, de operación o de mantenimiento, confiabilidad de un sistema, utilidad anual, etc.

ii) *Diversos cursos de acción.* Siempre debe de haber más de una manera de lograr el objetivo, puesto que si sólo hay una no hay necesidad de escoger o de *decidir* por una de ellas. Las diversas acciones pueden tener diferentes costos o beneficios y diferentes probabilidades de éxito; el proceso de formular una lista de las diversas acciones o alternativas es un proceso de inventiva que debe desarrollar la persona que toma la decisión, con base en su experiencia o intuición. En ocasiones una de las acciones posibles es "posponer la decisión hasta tener mayor información acerca del problema" lo cual, evidentemente, no puede prolongarse en forma indefinida.

iii) *Factores relevantes.* Los factores relevantes que pueden intervenir en un proceso de decisión pueden ser iguales o diferentes para las diversas acciones, y pueden ser de carácter económico, tecnológico y humano. Dentro de los factores económicos se cuentan: disponibilidad de materiales, financiamiento, instalaciones, organización administrativa, equipo, etc.

Como factores tecnológicos podemos considerar aquellos directamente relacionados con el análisis y diseño de un sistema, tales como resistencia de los materiales efectos dinámicos, térmicos, magnéticos, etc., pro-

...

blemas de fatiga, corrosión o flujo plástico de los materiales, disponibilidad de combustible o corriente eléctrica, etc. Los factores humanos no sólo se relacionan con la práctica política o social para diseñar un sistema, sino también con la ética y moral del que decide, tales como prestigio profesional, preferencias y prejuicios personales, confort o bienestar familiar, etc.

6.2 *El modelo de decisión*

Para formular el modelo de decisión (ref 2) tenemos que definir todos los elementos que intervendrán en él. Es necesario saber que las consecuencias de adoptar una acción dependen de un factor que no conocemos con certeza y que llamaremos *estado de la naturaleza*. Por ejemplo, al diseñar un edificio no conocemos exactamente cuál será el asentamiento total del mismo, de acuerdo con los diversos tipos de cimentación que se utilicen; tampoco conocemos con certeza el volumen máximo de agua que escurrirá hacia una presa que forma parte de un sistema de riego y de control de avenidas durante un período dado, etc. La manera de reconocer que no se sabe cuál es el verdadero estado de la naturaleza consiste en asignarle a cada estado posible una *probabilidad* de que ocurra.

El proceso de tomar una decisión consiste en escoger una *acción* o alternativa, a, de entre las diversas acciones posibles a_1, a_2, ..., a_n, que constituyen el *espacio de acciones*, A (el espacio de acciones es el conjunto de las diversas acciones, es decir,

...

$A = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$), bajo la consideración de que no se sabe con certeza (sólo probabilísticamente), cuál de los posibles estados de la naturaleza $\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_m$, es el verdadero (el conjunto $\Omega = \{\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_m\}$ se denomina *espacio de estados de la naturaleza*). Una vez que se ha seleccionado y realizado una acción, con el transcurso del tiempo la persona que tomó la decisión podrá darse cuenta de cuál es el verdadero estado de la naturaleza, con lo cual obtendrá una utilidad $u(a,\theta)$; en otras palabras, $u(a,\theta)$ es la utilidad que se obtiene al escoger la acción a cuando el *verdadero* estado de la naturaleza es θ.

Este modelo de decisiones se muestra gráficamente en la fig. 6.1, mediante el llamado *árbol de decisiones*.

AQUI ENTRA FIG 6.1

Otra manera de representar gráficamente el proceso de decisiones se muestra en la fig 6.2; en ella, aparece en primer término el objetivo que se persigue al tomar la decisión acerca del sistema bajo estudio; en segundo lugar, se tiene la información acerca del sistema, que incluye la lista de las acciones posibles, la lista de los estados de la naturaleza y sus probabilidades correspondientes, y la lista de los factores relevantes; en tercer lugar, aparece el criterio de decisión que se utilice y, finalmente, la acción óptima o más conveniente.

AQUI ENTRA FIG 6.2

Una manera usual de presentar las utilidades que corresponden

...

a cada combinación acción-estado de la naturaleza consiste en una tabla como la 6.1; por ejemplo, en el renglón de a_2 y la columna de θ_m se tiene la utilidad $u(a_2, \theta_m)$.

Tabla 6.1 *Tabla de utilidades*

Estados θ_j / Acciones a_i	θ_1	θ_2	..	θ_m
a_1	$u(a_1,\theta_1)$	$u(a_1,\theta_2)$	...	$u(a_1,\theta_m)$
a_2	$u(a_2,\theta_1)$	$u(a_2,\theta_2)$	...	$u(a_2,\theta_m)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮
a_n	$u(a_n,\theta_1)$	$u(a_n,\theta_2)$	...	$u(a_n,\theta_m)$

La formulación de los problemas de decisión se ilustrará mediante los siguientes ejemplos.

Ejemplo 6.1. Prueba estadística de hipótesis. Al realizar una prueba de hipótesis sólo hay dos acciones:

a_1 : aceptar la hipótesis nula

a_2 : rechazar la hipótesis nula

El espacio de acciones es, por lo tanto, $A = \{a_1, a_2\}$. Supongamos que los estados de la naturaleza son θ_0 y θ_1, que corresponden, por ejemplo, a los valores posibles de la media o de la varianza de una variable aleatoria; el espacio de estados de la naturaleza es, entonces, $\Omega = \{\theta_0, \theta_1\}$.

...

Se trata de probar la hipótesis H_0: $\theta = \theta_0$, contra la alternativa H_1: $\theta = \theta_1$. La tabla de utilidades correspondiente es

a_i \ θ_j	θ_0	θ_1
a_1	U_1	U_2
a_2	U_3	U_4

donde $U_3 = u(a_2, \theta_0)$ y $U_2 = u(a_1, \theta_1)$, son utilidades con valores negativos, ya que corresponden a una *pérdida* ocasionada por cometer el error tipo I, de rechazar H_0 (tomar a_2) siendo verdadera ($\theta = \theta_0$), y a cometer el error tipo II, de aceptar H_0 (tomar a_1) siendo falsa ($\theta = \theta_1$), respectivamente. (En algunos textos, como la ref 3, se utiliza la *función de pérdida* $L(a_i, \theta_j)$ en vez de la *función de utilidad*, pero ambos criterios son equivalentes puesto que una pérdida equivale a una utilidad negativa, y viceversa). Las utilidades $U_1 = u(a_1, \theta_0)$ y $U_4 = u(a_2, \theta_1)$ son positivas (hay ganancia), puesto que corresponden a tomar las acciones correctas. El árbol de decisión para este problema es el mostrado en la fig 6.3.

ENTRA FIG 6.3

Ejemplo 6.2. Construcción de la carpeta de una carretera.

Un contratista construirá la carpeta de una carretera en tramos de 50 m; el gobierno aceptará o rechazará cada tramo de acuerdo con una prueba de control de calidad. El contratista tiene la opción de pedir el concreto a una de dos plantas premezcladoras; la planta A cobra 140 pesos/m^3 y la B 160 pesos/m^3, pero

...

el control de calidad que se lleva en la planta B es mejor, lo cual hace más probable que un tramo dado pase favorablemente la prueba de aceptación. Tomando en cuenta que en cada tramo se usan 100 m^3 de concreto y que la probabilidad de que el proveniente de la planta A no pase la prueba de control es 0.10, y la de B es 0.05, el constructor deberá decidirse por cuál planta usar. El árbol de decisiones de este problema es el mostrado en la fig 6.4, donde $P(\theta_1)$ y $P(\theta_2)$ son las probabili-

ENTRA FIG 6.4

dades de que ocurran θ_1 y θ_2, respectivamente. La utilidad $U_1 = u(a_1, \theta_1)$ es la que corresponde a utilizar la planta A y que la carpeta pase la prueba de control de calidad; en este caso la utilidad (negativa) es el costo del concreto ($14,000.00) más la colocación (supongamos $100,000.00), por lo cual U_1 = -114,000.00. $U_2 = u(a_1, \theta_2)$ es la que corresponde a usar la planta A y que la carpeta no pase la prueba de calidad; en este caso el constructor deberá demoler y reconstruir el tramo con los siguientes costos:

Carpeta demolida	Pérdida de prestigio	$ 5,000.00
	Mano de obra de demolición	15,000.00
	Concreto	14,000.00
	Mano de obra de colocación	100,000.00
Reconstrucción	Mano de obra	100,000.00
	Concreto	14,000.00
	T O T A L	$ 248,000.00

...

De manera similar se obtienen u_3 y u_4, cuyos valores resultan ser $u_3 = -\$116,000.00$ y $u_4 = -\$252,000.00$.

Si la decisión se tomara sin considerar las probabilidades de aceptar la carpeta, el constructor se decidiría por la planta A, ya que la pérdida (utilidad negativa) sería menor. Si se toma en cuenta este hecho, y adoptamos como *criterio de decisión* el escoger la planta que conduzca a una *esperanza de pérdida* menor se tendrá (recuerde que la esperanza de la variable aleatoria X, $E[X]$, es $E[X] = \sum_{i=1}^{m} P[X_i]X_i$, donde las X_i son los valores que puede asumir X, y $P[X_i]$ son las probabilidades correspondientes):

Para la planta A:

$$E[u] = 0.90 \times (-114,000) + 0.10 \times (-248,000) = \$127,400.$$

Para la planta B:

$$E[u] = 0.95 \times (-116,000) + 0.05 \times (-252,000) = -\$122,800.$$

Comparando ambas cifras se concluye que la decisión de comprar el concreto de la planta B conduce a una pérdida esperada menor que la de la planta A, es decir, se escoge la planta B aunque el precio unitario del concreto sea mayor.

Ejemplo 6.3. Un ingeniero industrial debe decidir sobre la conveniencia de instalar un sistema de aire acondicionado en una planta industrial. Con base en los reportes diarios del servicio meteorológico se ha estimado que los estados de la naturaleza posibles se pueden reducir a:

θ_1: el 80% de los días son muy calientes y el 20% son calientes

...

θ_2: el 50% de los días son muy calientes, el 30% son calientes y el 20% son tibios

θ_3: el 20% de los días son muy calientes, el 30% son calientes y el 50% son tibios

Las acciones posibles son:

a_1: instalar el aire acondicionado

a_2: no instalar el aire acondicionado

Se estima que las utilidades que corresponden a cada combinación acción-estado de la naturaleza son:

$$u(a_1, \theta_1) = -\$30{,}000 \ , \ u(a_2, \theta_1) = -\$100{,}000$$

$$u(a_1, \theta_2) = -\$30{,}000 \ , \ u(a_2, \theta_2) = -\$\ 40{,}000$$

$$u(a_1, \theta_3) = -\$30{,}000 \ , \ u(a_2, \theta_3) = -\$\ 10{,}000$$

Observe que los \$30,000 que se pierden al instalar el aire acondicionado (acción a_1) corresponden al costo inicial y de mantenimiento del sistema; los \$100,000 que se pierden con la acción a_2 cuando la mayoría de los días son muy calientes corresponden al costo de los daños que las altas temperaturas ambientales puedan ocasionar al producto elaborado o a la materia prima; un comentario semejante a este último se aplica a las cifras de -\$40,000 y -\$10,000.00.

La tabla de utilidades que corresponde a este problema es:

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2	θ_3
a_1	-30,000	-30,000	-30,000
a_2	-100,000	-40,000	-10,000

...

El árbol de decisiones es el mostrado en la fig 6.5.

ENTRA FIG 6.5

6.2.1 *Comentarios sobre la función de utilidad*

Al evaluar las utilidades que corresponden a cada combinación acción-estado de la naturaleza, a menudo la persona que toma la decisión se encuentra con algunos factores relevantes que no se pueden evaluar fácilmente en escala monetaria, tales como pérdida de prestigio, pérdida de vidas humanas, pérdidas por compromisos políticos, etc. Por ejemplo, ¿cuánto estaría usted dispuesto a pagar por no permanecer 20 años en la cárcel por haber diseñado un edificio que falló por haberlo calculado con un factor de seguridad muy bajo, y que por dicha falla perecieron varias personas?, y ¿cuánto estaría dispuesta a pagar la sociedad por evitar la pérdida de esas vidas humanas?. Es difícil responder fríamente a este tipo de preguntas, pero una vez que se haya establecido un criterio para evaluar estas pérdidas, éste deberá ser consistente para todas las acciones. Además, el criterio que se adopte puede variar de una persona a otra, de acuerdo con su criterio, ética, etc. Por ejemplo, un criterio para evaluar la vida humana puede consistir en dividir el ingreso nacional bruto entre el número de habitantes en el país en el momento de tomar la decisión, y capitalizar esta cifra durante un período, digamos, de 20 años. Es evidente que este criterio adolece del defecto de no hacer ninguna distinción entre las diversas categorías sociales de las gentes que perezcan en el accidente, puesto que la contribución al

...

ingreso nacional bruto varía de acuerdo con la posición social (económica) de los individuos.

6.2.2 *Comentarios acerca de la asignación de probabilidades*

La asignación de probabilidades de ocurrencia de los diversos estados de la naturaleza puede basarse en resultados de experimentos u observaciones de los mismos, en los resultados de un modelo matemático formulado para el problema en cuestión (como por ejemplo, el de la ref 4 para el número de ciclos de carga necesario para que ocurra una falla por fatiga de algún material), o en forma subjetiva de acuerdo con la experiencia del que toma la decisión en situaciones similares propias o ajenas, o de acuerdo con sus convicciones de lo que pueda suceder; éste es un caso similar al de apostarle a un caballo dado en una carrera, dando diferentes momios de acuerdo con los contrincantes y con las condiciones de la pista; o a decir: de acuerdo con mi experiencia personal en cierta zona, los momios son de 3 a 1 de que el volumen de material de determinado banco sea de 5000 m^3 a que sea de 10,000 m^3, lo cual equivale a asignarle una probabilidad de 0.75 al estado de la naturaleza de que el volumen es 5000 m^3, y de 0.25 a que es de 10,000 m^3. En la ref 5 se presenta una discusión bastante amplia acerca de las probabilidades subjetivas.

6.3 *El problema de decisión sin datos empíricos*

Aunque en la teoría estadística de decisiones a menudo se involucran datos acerca de los estados de la naturaleza, empezaremos por estudiar el caso en que no se cuenta con tales datos.

...

Este problema es más simple que el otro y sirve para ilustrar algunos conceptos básicos. El planteamiento del problema lo haremos en términos de la función de pérdidas $L(a_i, \theta_j)$ que, como ya dijimos, es igual a $-u(a_i, \theta_j)$.

Consideremos el problema de seleccionar del espacio de acciones, A, la acción más apropiada, a, cuando se conocen el espacio de estados de la naturaleza, Ω, y las pérdidas $L(a_i, \theta_j)$. Es evidente que al tomar una decisión lo haremos de manera que la pérdida resultante sea mínima, lo cual puede hacerse determinísticamente cuando se sabe cuál es el estado de la naturaleza que gobierna el problema, en cuyo caso el espacio de estados de la naturaleza sólo contendría un elemento, el estado conocido. Cuando no se sabe cuál es el estado de la naturaleza, es necesario establecer un criterio para optimizar (minimizar) la pérdida, ya que la mejor acción para un estado de la naturaleza usualmente no lo es para otro. Por ejemplo, consideremos la siguiente tabla de pérdidas:

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2
a_1	5	0
a_2	2	4

En este caso la acción óptima sería a_1 si el verdadero estado de la naturaleza fuera θ_2, ya que conduce a una pérdida menor (0) que con a_2 (4); por el contrario, si θ_1 fuese el verdadero estado de la naturaleza, la mejor acción sería a_2.

...

El proceso de seleccionar una acción sin conocer el verdadero estado de la naturaleza se puede comparar con el de un juego entre dos sujetos, uno de los cuales es el que toma la decisión (selecciona una acción) y el oponente es la naturaleza (asume un estado de la naturaleza); de acuerdo con este símil llamaremos *estrategia pura* al hecho de seleccionar una acción por parte del que decide (la estrategia de la naturaleza sería asumir un estado).

En ocasiones es conveniente usar una *estrategia mixta*, la cual se formula utilizando un criterio aleatorio para seleccionar una acción, en cuyo caso la pérdida es una variable aleatoria. Por ejemplo, supongamos que adoptamos la siguiente estrategia mixta para un problema con solo dos acciones posibles a_1 y a_2: lanzamos una moneda "cargada" de manera que la probabilidad de obtener cara es 0.6, y de obtener cruz es 1-0.6 = 0.4; si cae cara, adoptamos a_1, y si cae cruz, adoptamos a_2. En este caso la probabilidad de tener la pérdida asociada a a_1 es igual a la de escoger a_1, es decir, 0.6; análogamente, la probabilidad de obtener la pérdida asociada a a_2 es igual a la de escoger a_2, es decir, 0.4.

La esperanza de la pérdida correspondiente a cada estado de la naturaleza, θ_j para una estrategia mixta dada es

$$L_j = E_A \left[L(a_i, \theta_j) \right] = \sum_{i=1}^{n} P\left[a_i\right] L(a_i, \theta_j) \qquad (6.1)$$

en donde el subíndice A en E indica que la esperanza se toma respecto a la distribución de probabilidades de los elementos a_i de A. Para el ejemplo anterior la esperanza de la pérdida vale

...

$$L_j = E_A\left[L(a_i,\theta_j)\right] = 0.6\ L(a_1,\theta_j) + 0.4\ L(a_2,\theta_j)$$

6.3.1 *El principio minimax*

En párrafos anteriores indicamos que es necesario recurrir a algún criterio para seleccionar una acción en un problema de decisiones, ya que la acción que minimiza la pérdida para un estado de la naturaleza dado generalmente no lo hace para otro. Uno de los criterios usuales es el llamado *principio minimax*, el cual consiste en anotar las pérdidas *máximas* que corresponden a cada acción, ver cuál es la *mínima* de ellas, y seleccionar la acción que le corresponde; es decir, consiste en seleccionar la mínima de las máximas pérdidas; de aquí el nombre de *minimax*.

Ejemplo 6.4. La tabla de pérdidas correspondiente al ejemplo 6.2 de este capítulo es:

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2	Máx$L(a_i,\theta_j)$
a_1	\$ 114,000	\$248,000	\$248,000
a_2	\$ 116,000	\$252,000	\$252,000

En la última columna se anotaron los valores máximos de las pérdidas para cada acción; la mínima de ellas es \$248,000, que corresponde a a_1; este criterio conduce, entonces, a seleccionar la acción a_1, de comprar el concreto a la planta A. Este resultado es diferente al obtenido en el ejemplo 6.2 con el criterio ahí usado. Esto muestra que dos criterios de decisión diferentes no necesariamente conducen a seleccionar la misma acción.

...

Ejemplo 6.5. En el ejemplo 6.3 de este capítulo se obtuvo la siguiente tabla de pérdidas:

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2	θ_3	Máx $L(a_i, \theta_j)$
a_1	\$ 30,000	\$30,000	\$30,000	\$ 30,000
a_2	\$100,000	\$40,000	\$10,000	\$100,000

Las pérdidas máximas para cada acción se encuentran anotadas en la última columna; la mínima de ellas es \$30,000, que corresponde a a_1; esto nos conduce a seleccionar la acción a_1, de instalar el sistema de aire acondicionado en la fábrica.

Observe que el principio minimax conduce a una decisión muy pesimista, pues se basa en esperar que para cada acción ocurra la pérdida máxima.

Ejemplo 6.6. Consideremos un problema de decisión en el cual se tenga la siguiente tabla de pérdidas, donde las pérdidas están en decenas de miles de pesos.

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2	Máx $L(a_i, \theta_j)$
a_1	3	3	3
a_2	1	4	4
a_3	4	0	4

El mínimo de los máximos es 3, lo cual conduce a seleccionar la acción a_1. Veamos cuál es la representación gráfica de este ejemplo. En la fig 6.6 se han anotado los puntos que corresponden a cada acción en un sistema de coordenadas rectangulares, cuyos ejes horizontal y vertical corresponden a las

...

pérdidas con θ_1 y θ_2, respectivamente.

NOTA: AQUI ENTRA
Fig. 6.6 Determinación gráfica de la acción minimax.

Para los puntos que están arriba de la recta $x = y$ la coordenada y es la mayor; para los que están abajo, la coordenada x es la mayor, y para los puntos sobre la línea $x = y$, ambas coordenadas son iguales. Entonces, si formamos la escuadra resultante de prolongar hacia la izquierda el eje horizontal y hacia abajo el eje vertical, y luego desplazamos el vértice de dicha escuadra sobre la línea $x = y$, manteniendo el paralelismo de los lados de la escuadra con los ejes, el primer punto que se encuentre, ya sea en el vértice o en uno de los lados, es el que tiene la mínima de las máximas pérdidas. En el ejemplo anterior dicho punto corresponde a a_1.

Continuando con el ejemplo, suponga que se desea formular una estrategia mixta minimax. Sean p_1, p_2 y p_3 las probabilidades del criterio aleatorio que conducen a la selección de a_1, a_2 y a_3 respectivamente. Las esperanzas de las pérdidas son, entonces,

Para θ_1:

$$L_1 = 3p_1 + p_2 + 4p_3$$

Para θ_2:

$$L_2 = 3p_1 + 4p_2$$

Observe que L_1 y L_2 son combinaciones convexas de las pérdidas correspondientes a a_1, a_2 y a_3, con coeficientes p_1, p_2 y p_3. (Recuerde que una combinación convexa es una combinación lineal $y = \Sigma\, a_i x_i$, tal que todas las a_i sean mayores o iguales a

...

cero, y que $\Sigma a_i = 1$). Por lo tanto, las estrategias mixtas posibles corresponden a cualquier punto en el área demarcada por las rectas que unen a_1 con a_2, a_2 con a_3, y a_3 con a_1, como se muestra en la fig 6.7.

NOTA: AQUI ENTRA

Fig 6.7 Determinación gráfica de la estrategia mixta minimax

La forma gráfica de obtener la estrategia mixta minimax es idéntica a la de las estrategias puras, pero ahora los puntos no se restringen a a_1, a_2 y a_3, sino a toda el área sombreada que constituye la combinación convexa de ellas. El primer punto encontrado se sitúa sobre la línea que une a_2 y a_3, el cual tiene como coordenadas a $x = y = 16/7$ (esta línea se define mediante la combinación convexa de a_2 y a_3 solamente, por lo cual $p_1 = 0$). Con este podemos calcular los valores de las probabilidades p_2 y p_3 que corresponden a la estrategia mixta minimax, sustituyendo a $x = 16/7$ por L_1 y a $y = 16/7$ por L_2 en las últimas dos ecuaciones, y considerando que la acción mixta minimax se presenta cuando $p_1 = 0$, ya que se localiza en la línea definida por la combinación convexa de a_2 y a_3 solamente. Haciendo esto se tiene

$$16/7 = p_2 + 4p_3$$
$$16/7 = 4p_2$$

Resolviendo simultáneamente estas ecuaciones obtenemos $p_2 = 4/7$ y $p_3 = 3/7$. Un proceso de simulación para seleccionar a_2 o a_3 sería: divida el área de un disco en siete partes iguales, y pinte de blanco tres de ellas y de negro las otras cuatro;

...

haga girar el disco y cuando se detenga observe hacia qué parte apunta alguna flecha indicadora situada en el exterior del disco; si es blanca, seleccione la acción a_3, y si es negra, seleccione a_2. En este proceso, la esperanza de la pérdida correspondiente a la estrategia mixta minimax es 16/7.

Es evidente que el procedimiento gráfico para encontrar la acción mixta minimax es inoperante cuando se tienen tres o más estados de la naturaleza posible; en tal caso, es necesario usar un método analítico que tome en cuenta que la estrategia mixta minimax corresponde a un punto situado en las fronteras de la combinación convexa total.

La discusión de este criterio no irá más adelante en este libro debido a que este método no es de los mejores por ser demasiado pesimista; sin embargo, el planteamiento que se ha realizado se considera importante desde el punto de vista académico.

Ejemplo 6.7 Consideremos la siguiente tabla de pérdidas, en donde las cantidades están en cientos de miles de pesos.

de la línea que une a a_2 con a_5, cuya ecuación es $y = 2$, y corresponde a la combinación convexa de a_2 y a_5 solamente, por lo que $p_1 = p_3 = p_4 = 0$. Este punto tiene por coordenadas $x = 2$ y $y = 2$, es decir, la esperanza de la pérdida que corresponde a esta estrategia mixta es \$200,000.00. Los valores de p_2 y p_5 se obtienen de las ecuaciones de las pérdidas esperadas para θ_1 y θ_2, que son

$$2 = p_2 + 5p_5$$

$$2 = 2p_2 + 2p_5$$

de donde, $p_5 = 1/4$ y $p_2 = 3/4$.

NOTA: AQUI ENTRA LA

Fig 6.8 Determinación de la estrategia mixta del ejemplo 6.

6.3.2. *Criterio de Bayes*

Aunque usualmente no se sabe cuál es el verdadero estado de la naturaleza, es común que se tenga alguna información *a priori* acerca de los diversos estados posibles, que puede tomarse en cuenta en el proceso de decisión. Esta información se puede plantear en términos de probabilidades acerca de cada estado, dando por resultado una *distribución de probabilidades a priori* que evalúa la diferente confianza que tenemos acerca de que cada estado posible sea el verdadero. Si $L(a_i, \theta_j)$ es la pérdida asociada a la combinación de la acción a_i con el estado θ_j, y $p(\theta_j)$ es la probabilidad a priori de que ocurra θ_j, la *pérdida de Bayes* se define como la esperanza de la pérdida respecto a la distribución de probabilidades $p(\theta_j)$, es decir,

...

$$B(a_i) = E_\Omega[L(a_i, \theta_j)] = \sum_{j=1}^{m} L(a_i, \theta_j) p(\theta_j)$$

donde el índice Ω en E nos indica que la esperanza se toma respecto a la distribución de probabilidades (a priori) de los elementos del espacio de estados Ω. *El criterio de Bayes* nos indica que la mejor acción es aquella que se asocia con la *mínima* pérdida de Bayes.

Ejemplo 6.8. Resolvamos el ejemplo 6.6 de este capítulo mediante el criterio de Bayes, suponiendo que las probabilidades *a priori* para θ_1 y θ_2 son $P[\theta_1] = 0.3$ y $P[\theta_2] = 0.7$. La tabla de pérdidas es la siguiente:

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2	$B(a_i)$
a_1	3	3	3.0
a_2	1	4	3.1
a_3	4	0	1.2

Las pérdidas de Bayes son:

Para a_1: $B(a_1) = 3 \times 0.3 + 3 \times 0.7 = 3.0$

Para a_2: $B(a_2) = 1 \times 0.3 + 4 \times 0.7 = 3.1$

Para a_3: $B(a_3) = 4 \times 0.3 + 0 \times 0.7 = 1.2$

Estas pérdidas se han anotado en la última columna de la tabla de pérdidas, de las cuales la mínima es 1.2 que corresponde a a_3, por lo cual el criterio de Bayes nos conduce a adoptar la acción a_3. Note que este resultado es diferente al obtenido mediante el criterio minimax, lo cual, una vez más, nos indica que los diversos criterios de decisión no necesariamente nos conducen a adoptar la misma acción.

...

Ejemplo 6.9. (Este ejemplo es semejante al discutido en la ref 2). Dos tramos de un puente sobre el río John Dayer Oregon fallaron durante las grandes avenidas de diciembre de 1964 (Para mayores detalles ver Engineering News-Record, enero 7 de 1965 y marzo 11 de 1965). El costo del puente fue de - $32,000,000.00 de pesos. Los planes originales para la construcción del puente indican que las pilas de cimentación debían apoyarse en una capa de roca, pero debido a que el constructor tuvo problemas de excavación se le permitió cimentar sobre una capa de arena y grava compacta; este cambio ahorró 2,000,000 de pesos, y la construcción se realizó en un tiempo menor que el planeado. La cimentación se había diseñado para resistir un flujo de 1,000 m^3/seg, pero el escurrimiento que ocasionó la falla fue de 1,100 m^3/seg.

Es interesante saber que otros tres puentes situados sobre el mismo río no fallaron, lo cual es explicable en parte porque no se puede precisar el comportamiento de una cimentación de este tipo cuando se ve sujeta a una acción tan compleja como es la socavación. Se estimó que el costo de la reconstrucción sería del orden de 10,000.000 de pesos.

Este ejemplo es ilustrativo porque es típico de situaciones que se presentan a menudo, puesto que es común considerar cambios de diseño cuando se cuenta con nueva información durante la construcción o fabricación. La solución se hará usando números ficticios, con el único propósito de ilustrar el método de Bayes. El árbol de decisiones correspondiente se presenta más adelante, y es un poco más complicado que los

...

anteriores; en él, θ_i representa el estado "flujo máximo", y θ_{ij} al estado "comportamiento del puente, si el flujo es θ_i". Las acciones posibles son:

a_1: reconstruir usando el diseño original

a_2: reconstruir usando el proyecto modificado propuesto por el constructor

El ingeniero encargado de tomar la decisión supone que es suficiente considerar los cuatro estados de la naturaleza siguientes (flujos máximos):

θ_1: flujo $\leq$ 900 m^3/seg

θ_2: flujo = 1,000 m^3/seg

θ_3: flujo = 1,100 m^3/seg

θ_4: flujo $\geq$ 1,200 m^3/seg

y supone, con base en registros previos correspondientes a un río similar de la misma cuenca, que durante el tiempo de servicio del puente las probabilidades *a priori* de que ocurra cada estado son:

$$P[\theta_1] = 0.950$$
$$P[\theta_2] = 0.025$$
$$P[\theta_3] = 0.015$$
$$P[\theta_4] = 0.010$$

Además, las probabilidades condicionales de que el puente falle o no (de que el comportamiento estructural sea o no satisfactorio) si llega a ocurrir el flujo θ_i, y si se adopta la acción a_k, se denotan con $P[\theta_{ij} | \theta_i, a_k]$, y se presentan en las siguientes dos tablas:

...

Para la acción a_1:

Ejemplo 6.9. (Este ejemplo es semejante al [illegible]

Comportamiento	$P\left[\theta_{1j} \mid \theta_1, a_1\right]$	$P\left[\theta_{2j} \mid \theta_2, a_1\right]$	$P\left[\theta_{3j} \mid \theta_3, a_1\right]$	$P\left[\theta_{4j} \mid \theta_4, a_1\right]$
Satisfactorio	0.998	0.98	0.97	0.9
No satisfactorio	0.002	0.02	0.03	0.1

de 1965 y marzo 11 de 1965). [illegible]

Para la acción a_2:

Comportamiento	$P\left[\theta_{1j} \mid \theta_1, a_2\right]$	$P\left[\theta_{2j} \mid \theta_2, a_2\right]$	$P\left[\theta_{3j} \mid \theta_3, a_2\right]$	$P\left[\theta_{4j} \mid \theta_4, a_2\right]$
Satisfactorio	0.98	0.88	0.5	0.25
No satisfactorio	0.02	0.12	0.5	0.75

capa de arena y grava completa, este cambio costaría [illegible]

Las pérdidas se considerarán en relación con costo de la falla de pesos, y la construcción [illegible]
del nuevo puente, es decir, si se usa el diseño original y no [illegible]
el planeado. La cimentación [illegible]
falla el puente, no se pierde nada, y si falla se pierde el costo
flujo de 1,000 m/seg, [illegible]
de la reconstrucción, el cual es de $10,000,000. Si se usa el
falla fue de 1,100 m/seg,
diseño propuesto por el constructor, de cimentar sobre el manto
Es interesante [illegible] de puentes situados sobre el
de arena, el ahorro es de $2,000,000.00 en caso de que no falle;
mismo río no [illegible]
si falla, la pérdida es de $8,000,000.00.
no se puede precisar [illegible] comportamiento de una cimentación de
Todos los datos anteriores se presentan en el árbol de decisiones
este tipo cuando
de la fig 6.9, en el cual las pérdidas están en millones de pesos.
es la socavación
ción sería del orden de 10 000 000 de pesos.

ENTRA FIG 6.9

Este ejemplo es ilustrativo porque es típico de situaciones
Las esperanzas condicionales de las pérdidas se calculan
que se presentan a menudo puesto que es común considerar
sumando los productos de las pérdidas por las probabilidades
cambios de diseño cuando se cuenta con nueva información
correspondientes. Por ejemplo:
te la construcción [illegible] La solución se hará usando
el método bayesiano.

$$\text{número } E\left[L \mid \theta_1, a_1\right] = 0 \times 0.998 + 10 \times 0.002 = 0.02$$

$$\text{método } E\left[L \mid \theta_2, a_1\right] = 0 \times 0.98 + 10 \times 0.02 = 0.2$$

$$\text{prese } E\left[L \mid \theta_3, a_1\right] = 0 \times 0.97 + 10 \times 0.03 = 0.3, \text{ etc.}$$

Estas cifras y las faltantes se encuentran anotadas en los penúltimos nodos, de izquierda a derecha, del árbol de decisiones, encerradas en un rectángulo.

Una vez que hemos calculado las esperanzas condicionales de las pérdidas, podemos obtener las esperanzas de las mismas (pérdidas de Bayes) asociadas a cada acción, mediante la fórmula.

$$B(a_1) = E_{\Omega}\left[L(a_1,\theta_j)\right] = \sum_{i=1}^{4} E\left[L|a_1,\ \theta_i\right]P\left[\theta_i\right] \qquad (6.2)$$

para la acción a_1, lo cual resulta en

$$B(a_1) = 0.02 \times 0.950 + 0.2 \times 0.025 + 0.3 \times 0.015 + 1\times0.10 = 0.037$$

Para a_2 el resultado es

$$B(a_2) = \sum_{i=1}^{4} E\left[L|a_2,\theta_i\right]P\left[\theta_i\right] = -1.8 \times 0.950 + (-0.8) \times 0.025 + 3.0 \times 0.015 + 5.5 \times 0.010 = -1.71 - 0.020 + 0.045 + 0.055 = -1.63$$

Estas pérdidas se han anotado en un rectángulo cercano a los nodos colocados en segundo lugar de izquierda a derecha. La mínima de las pérdida de Bayes es la correspondiente a a_2, lo cual conduce a adoptar esta acción, es decir, a usar nuevamente la solución propuesta por el constructor. Observe que en este caso el criterio minimax nos proporciona el mismo resultado.

Ejemplo 6.10. Un contratista va a instalar los calentadores de agua en una gran unidad habitacional. Cada calentador deberá llenar los requisitos de la familia que ocupe el apartamiento, pero no sabe cuáles son estas necesidades para cada familia específica. Por su experiencia profesional el contratista

piensa que con calentadores con capacidades de 100, 120 o 150 lts es suficiente, pero su utilidad monetaria depende de la capacidad que seleccione, ya que, por un lado, el costo aumenta con la capacidad y, por otro, deberá hacer los cambios necesarios cuando la demanda en una familia sea mayor que la capacidad usada. Las acciones posibles son, entonces,

a_1 : instalar calentadores de 100 lts

a_2 : instalar calentadores de 120 lts

a_3 : instalar calentadores de 150 lts

Los estados de la naturaleza son:

θ_1 : el usuario consume 100 lts o menos

θ_2 : el consumo del usuario es de más de 100 lts, pero menor o igual a 120 lts.

θ_3 : el consumo es mayor de 120 lts, pero menor o igual a 150 lts.

Las probabilidades que *a priori* asigna el contratista a cada estado de la naturaleza son

$P[\theta_1] = 0.5$

$P[\theta_2] = 0.4$

$P[\theta_3] = 0.1$

La tabla de pérdidas que él calcula es:

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2	θ_3
a_1	-4	-4	-4
a_2	3	-5	-5
a_3	4	2	-6

...

Las pérdidas de Bayes son

$$B(a_1) = -4 \times 0.5 - 4 \times 0.4 - 4 \times 0.1 = -4.0$$

$$B(a_2) = 3 \times 0.5 - 5 \times 0.4 - 5 \times 0.1 = -1.0$$

$$B(a_3) = 4 \times 0.5 + 2 \times 0.4 - 6 \times 0.1 = 2.2$$

lo cual le conduce a seleccionar la acción a_1 de instalar calentadores de 100 lts de capacidad.

6.3.3 *Dominio y admisibilidad*

Se dice que una acción a_1 *domina* a la a_2, si para todos los estados θ se tiene

$$L(\theta, a_1) \leq L(\theta, a_2)$$

Si se presenta el caso de que $L(\theta, a_1) < L(\theta, a_2)$ para todos los estados θ, entonces a_1 *domina estrictamente* a a_2. Una acción es *admisible* si no es dominada estrictamente por ninguna otra acción; en caso contrario es *inadmisible*. Estas mismas definiciones se aplican a las estrategias mixtas, sólo que en vez de usar las pérdidas se usan las esperanzas de las pérdidas. Existen problemas en los cuales las probabilidades de ocurrencia de los estados de la naturaleza cambian de una acción a otra, tal como en el ejemplo 6.2. En esos casos el concepto de acción inadmisible no tiene validez general, sino que depende del criterio de decisión usado. Así, en ese ejemplo a_2 era inadmisible y, sin embargo, fue la mejor acción según el criterio de mínima pérdida esperada.

Ejemplo 6.11. La tabla de pérdidas del ejemplo 6.7 es

...

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2
a_1	-1	3
a_2	1	2
a_3	0	5
a_4	2	3
a_5	5	2

La acción a_1 no domina a la a_2, puesto que para θ_2 su pérdida (3) es mayor que la de a_2 (2); en cambio a_1 domina estrictamente a a_3 puesto que - 1<0 y 3<5, por lo cual a_3 es inadmisible (no tiene caso considerarla en algunos criterios de decisión, tales como el minimax), y a_2 domina estrictamente a a_4 puesto que 1<2 y 2<3, por lo cual a_4 también es inadmisible. Siguiendo un razonamiento semejante observe que a_2 no domina estrictamente a a_5, por lo que a_5 sí es admisible. Esto mismo se concluye al observar la figura del ejemplo 6.7, ya que a_3 y a_4 son los únicos puntos cuyas cordenadas son mayores que al menos las de otro punto. Por lo tanto, las únicas estrategias mixtas admisibles se localizan sobre las rectas que unen a_1 con a_2, y a_2 con a_5.

6.4 *El problema de decisión con datos empíricos*

Cuando se va a tomar una decisión usando datos empíricos es necesario estudiar previamente qué cantidad de datos es necesaria para no incurrir en gastos excesivos de tiempo y dinero en la experimentación.

6.4.1 *La función de riesgo*

...

Sea Z el vector cuyos elementos son los datos u observaciones, z_i, en que se basará el criterio de decisión, es decir,

$$Z = \{z_1, z_2, \ldots, z_N\}$$

El criterio que usemos para seleccionar cada acción dependiendo de cuáles son los datos, se denomina *función o regla estadística de decisión*, y se denota por $d(Z)$. Puesto que los datos son resultados experimentales (de observación) de los estados de la naturaleza, los cuales ocurren aleatoriamente, resulta que la función de decisión también es aleatoria y, por consiguiente, también lo son la acción adoptada y la pérdida correspondiente $L\left[\theta, d(Z)\right]$. Por esto, el criterio de decisión se basa en seleccionar la acción en términos de la *pérdida esperada o función de riesgo*,

$$R(\theta, d) = E_\theta\left[L(\theta, d(Z))\right] \qquad (6.3)$$

en donde la esperanza se calcula con respecto a la distribución de probabilidades de los datos Z para el estado θ. Observe que en la función de pérdida hemos escrito $d(Z)$ en vez de a, lo cual no cambia el concepto original de ella, puesto que a cada función de decisión le corresponde una, y sólo una, acción; esta notación es conveniente porque nos da idea directa de que estamos usando un criterio que es función de $d(Z)$.

El problema se ha cambiado, entonces, a seleccionar una acción en términos de una función de decisión, con base en la función de riesgo, pudiéndose utilizar los mismos criterios de decisión que en el caso de ausencia de datos. Por

...

supuesto, habrá tantas funciones de decisión como permutaciones posibles de las acciones tomadas de m en m, donde m es el número de estados de la naturaleza.

Ejemplo 6.12. Consideremos el problema del ejemplo 6.2 referente a la construcción de la carpeta de una carretera, en el cual la tabla de pérdidas es (las pérdidas están en miles de pesos)

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2
a_1	114	248
a_2	116	252

Supongamos que sólo se va a realizar una prueba de control de calidad del concreto de la planta A, y con base en el resultado se adoptará la acción a_1 (planta A), o la a_2 (planta B). Sean

z_1 = pasa la prueba de control

z_2 = no pasa la prueba de control

En tal caso $Z = \{z_1\}$ o $Z = \{z_2\}$.

Supongamos que se ha observado que cuando la prueba de control de la carpeta ha sido aceptable (el estado a sido θ_1), en el 80 por ciento de las veces la prueba de control de calidad en la planta ha sido favorable y el 20 por ciento no lo ha sido (esto equivale a decir que la prueba de control de calidad no es infalible, sino que falla el 20 por ciento de las veces). Análogamente, se ha observado que cuando la prueba de control no ha sido aceptable (el estado ha sido θ_2), en el 60 por ciento de las veces la prueba de control de calidad

tampoco lo fue y en el 40 por ciento sí lo fue. Estas probabilidades se pueden resumir en la siguiente *tabla de probabilidades condicionales, P*

z_i	$P[z_i \mid \theta_1]$	$P[z_i \mid \theta_2]$
z_1	0.80	0.40
z_2	0.20	0.60

El número de posibles reglas de decisión es $2^2 = 4$; ellas son:

Observación	d_1	d_2	d_3	d_4
z_1	a_1	a_2	a_1	a_2
z_2	a_1	a_2	a_2	a_1

En esta tabla, por ejemplo la regla d_3 nos indica que se tome a_1 si se observa z_1 y a_2 si se observa z_2.

Las funciones de riesgo son las siguientes:

Para θ_1 y d_1,

$$R(\theta_1, d_1) = E_{\theta_1}\{L[\theta_1, d_1(Z)]\} = 0.80 \times 114 + 0.20 \times 114 = 114$$

Para θ_1 y d_2,

$$R(\theta_1, d_2) = E_{\theta_1}\{L[\theta_1, d_2(Z)]\} = 0.80 \times 116 + 0.20 \times 116 = 116$$

Procediendo en forma semejante se obtiene,

$$R(\theta_1, d_3) = E_{\theta_1}\{L[\theta_1, d_3(Z)]\} = 0.80 \times 114 + 0.20 \times 116 = 114.4$$

$$R(\theta_1, d_4) = E_{\theta_1}\{L[\theta_1, d_4(Z)]\} = 0.80 \times 116 + 0.20 \times 114 = 115.6$$

$$R(\theta_2, d_1) = E_{\theta_2}\{L[\theta_2, d_1(Z)]\} = 0.40 \times 248 + 0.6 \times 248 = 248$$

$$R(\theta_2, d_2) = E_{\theta_2}\{L[\theta_2, d_2(Z)]\} = 0.40 \times 252 + 0.60 \times 252 = 252$$

$$R(\theta_2, d_3) = E_{\theta_2}\{L[\theta_2, d_3(Z)]\} = 0.40 \times 248 + 0.60 \times 252 = 250.4$$

$$R(\theta_2, d_4) = E_{\theta_2}\{L[\theta_2, d_4(Z)]\} = 0.40 \times 252 + 0.60 \times 248 = 249.6$$

La *tabla de riesgos* en que se resumen las cifras anteriores es

...

d_i	$R(\theta_1, d_i)$	$R(\theta_2, d_i)$
d_1	114	248
d_2	116	252
d_3	114.4	250.4
d_4	115.6	249.6

En la fig 6.10 se muestra el efecto de los datos en el proceso de decisión. En ella el eje de las abscisas representa los riesgos correspondientes a θ_1, y el de las ordenadas las de θ_2.

AQUI ENTRA

Fig 6.10 Reglas de decisión del ejemplo 6.12

El conjunto de estrategias posibles cuando no se tienen datos está restringido a la línea que une a d_1 con d_2; cuando sí se tienen datos, el conjunto de las estrategias posibles está contenido en la zona delimitada por las líneas que unen d_1 con d_3, d_3 con d_2, d_2 con d_4 y d_4 con d_1. Observe que si las probabilidades de ocurrencia de θ_1 y θ_2 no varían de a_1 a a_2, entonces d_1 domina estrictamente a d_2, d_3 y d_4, por lo que éstas resultan inadmisibles. Esto nos conduce a concluir que en tal caso, en este problema específico, no se ganaría nada con obtener solamente un dato para seleccionar una función de decisión. Si efectivamente varían, y el criterio de decisión es el de escoger la regla de decisión que tenga la mínima pérdida esperada, entonces no es aplicable el concepto de acción inadmisible; para verificar esto resolvamos el problema de esa manera, recordando que la tabla de probabilidades condicionales de los estados de la naturaleza, $P\left[\theta_i | a_j\right]$, es

...

a_i	$P[\theta_1 \mid a_i]$	$P[\theta_2 \mid a_i]$
a_1	0.90	0.10
a_2	0.95	0.05

y suponiendo que la probabilidad de observar z_1 es 0.80 y de z_2 es 0.20.

La tabla de probabilidades condicionales, $P[\theta_i \mid d_j]$, que se obtiene es

d_i	$P[\theta_1 \mid d_i]$	$P[\theta_2 \mid d_i]$	$E[R(d_i)]$
d_1	0.90	0.10	127.40
d_2	0.95	0.05	122.80
d_3	0.91	0.09	126.64
d_4	0.94	0.06	123.64

Como ejemplo de la manera de calcular los elementos de esta tabla, obtendremos los correspondientes a d_4.

$$P[\theta_1 \mid d_4] = P[\theta_1 \mid a_2]P[z_1] + P[\theta_1 \mid a_1]P[z_2]$$

$$= 0.95 \times 0.80 + 0.90 \times 0.20 = 0.94$$

puesto que d_4 conduce a adoptar a_2 si se observa z_1, y a adoptar a_1 si se observa z_2; análogamente,

$$P[\theta_2 \mid d_4] = P[\theta_2 \mid a_2]P[z_1] + P[\theta_2 \mid a_1]P[z_2]$$

$$= 0.05 \times 0.80 + 0.10 \times 0.20 = 0.06$$

En la última columna de la tabla anterior se anotaron las esperanzas de las pérdidas correspondientes a cada regla de decisión, las cuales se calculan con la fórmula

$$E[R(d_i)] = R[\theta_1, d_i]P[\theta_1, d_i] + R[\theta_2, d_i]P[\theta_2, d_i] \qquad (6.4)$$

...

Los resultados son:

$$E\left[R(d_1)\right] = 114 \times 0.90 + 248 \times 0.10 = 127.4$$

$$E\left[R(d_2)\right] = 116 \times 0.95 + 252 \times 0.05 = 122.8$$

$$E\left[R(d_3)\right] = 114.4 \times 0.91 + 250.4 \times 0.09 = 126.64$$

$$E\left[R(d_4)\right] = 115.6 \times 0.94 + 249.6 \times 0.06 = 123.64$$

La mínima de estas esperanzas es 122.8 que corresponde a d_2, es decir, a escoger la planta B independientemente del resultado de la prueba de control de calidad, lo cual implica que en este ejemplo la obtención de un solo dato no mejora nuestra posición en la decisión. Este comentario nos indica que *antes* de realizar un experimento tendiente a proporcionar datos para tomar una decisión, debemos calcular cuál es la mínima cantidad de información que necesitamos para que mejore nuestra posición respecto al caso en que no se tengan datos.

Ejemplo 6.13. Supongamos que en una fábrica de focos de iluminación instantánea para cámaras fotográficas (flashes) se emplea el siguiente criterio de control de calidad: se forman lotes de diez focos; de cada lote se toma un foco al azar y se prueba; con base en el resultado se acepta o se rechaza el lote de acuerdo con las siguientes reglas de decisión:

d_1: vender el lote si el foco de prueba era bueno; tirarlo si era defectuoso

d_2: tirar el lote si el foco de prueba era bueno; venderlo si era defectuoso

d_3: vender el lote si el foco de prueba era bueno; venderlo si era defectuoso

...

d_4: Tirar el lote si el foco de prueba era bueno; tirarlo si era defectuoso.

El precio de venta de cada foco es de \$1.50 con una garantía de retribuir \$3.00 al cliente por cada foco defectuoso que devuelva; el costo de fabricación de cada lote es de \$1.00.

Sean z_1 = el foco de prueba era bueno, z_2 = el foco de prueb era defectuoso, y k = número de defectuosos en el lote. La función de pérdida para d_1 es

$$L\left[k,\ d_1(z_1)\right] = -13.50 + 3.00\ k$$
$$L\left[k,\ d_1(z_2)\right] = 1.00$$

Tomando en cuenta que $P(z_2) = k/10$ y $P(z_1) = 1 - k/10$, la función de riesgo resulta ser

$$R(k,d_1) = (-13.50 + 3.00\ k)(1 - k/10) + 1.00 \times k/10$$
$$= -0.1(3k^2 - 44.5\ k + 135)$$

Para d_2 se tiene

$$L\left[k,d_2(z_1)\right] = 1.00$$
$$L\left[k,d_2(z_2)\right] = -13.50 + 3.00\ (k - 1)$$

por lo que

$$R(k,d_2) = 1.00(1 - k/10) + \left[-13.50 + 3.00(k-1)\right] k/10$$
$$= 0.1\ (3k^2 - 17.5\ k + 10)$$

Similarmente, para d_3 y d_4 se obtiene

$$R(k,d_3) = -0.9(15 - 3k)$$
$$R(k,d_4) = 1.0$$

Las gráficas de estas funciones de riesgo se muestran (como si fueran continuas) en la fig. 6.11, en función de k. Obser ve que para algunos estados (para los valores de k entre 0 y

...

la mejor regla de decisión es d_3, para k igual a 5 y 6 la mejor es d_2, y para k de 7 a 10 la mejor es d_4, es decir, tirar los lotes independientemente del resultado de la prueba de control de calidad; esto equivale a decidirse por no fabricar este tipo de focos.

ENTRA FIG 6.11

Si aplicamos el criterio minimax para tomar una decisión en este problema necesitamos determinar los valores máximos que asumen las funciones de riesgo, y luego seleccionar aquella que tenga el mínimo valor máximo. De la fig 6.11 se observa que el máximo de d_2 y d_3 es 13.5, de d_4 es 1.0 y de d_1 es 2.9, el mínimo de estos valores es 1.0, que corresponde a d_4.

Apliquemos ahora el criterio de Bayes, suponiendo que la distribución de probabilidades a priori de k es $P[k = 0] = P[k = 1] = P[k = 2] = 1/3$ y $P[k \geq 3] = 0$. Para estos recordemos que el *riesgo de Bayes*, $B(d)$, es la esperanza de las funciones de riesgo, es decir,

$$B(d_i) = E[R(\theta, d_i)]$$

De acuerdo con esto,

$$B(d_1) = \sum_{k=0}^{2} (-0.1)(3k^2 - 44.5k + 135)(1/3) = -9.55$$

$$B(d_2) = \sum_{k=0}^{2} 0.1(3k^2 - 17.5\,k + 10)(1/3) = -0.25$$

$$B(d_3) = \sum_{k=0}^{2} (-0.9)(15-3k)(1/3) = -10.8$$

$$B(d_4) = \sum_{k=0}^{2} (0.10)(1/3) = 1.0$$

...

El mínimo de estos valores es -10.8, que corresponde a d_3, lo cual equivale a vender los lotes independientemente del resultado de la prueba de control de calidad (la prueba no aporta ninguna información en este caso, por lo que puede ahorrarse el especimen probado).

Resolvamos ahora este mismo problema mediante el criterio de Bayes, pero suponiendo que la producción de focos está bajo estricto control de calidad, de manera que el porcentaje medio de defectuosos es 10%. En tal caso la distribución de probabilidades a priori del estado de la naturaleza, k, es binomial con parámetro p=0.1. Para d_1 se tiene,

$$B(d_1) = \sum_{k=0}^{10} (-0.1)(3k^2 - 44.5\ k + 135)P[k]$$

donde $P[k] = \binom{10}{k}(0.1^k)(0.9)^{10-k}$

El resultado es

$$B(d_1) = -9.62$$

De manera análoga, para las demás reglas de decisión se obtiene

$$B(d_2) = -0.18$$

$$B(d_3) = -1.08$$

$$B(d_4) = 1.0$$

El mínimo de estos valores es -9.62, que corresponden a d_1, es decir, a vender el lote si el foco de prueba fue bueno, y a tirarlo si fue malo. En este caso la prueba de control sí sirve para normar nuestra decisión.

6.4.2 *Criterio de Bayes. Probabilidades a posteriori.*

Al aplicar el criterio de Bayes en los problemas anteriores, en que

...

se contaba con datos acerca de los estados de la naturaleza, utilizamos la distribución de probabilidades a priori. A continuación describiremos la manera de tomar en cuenta los datos que se obtengan antes de tomar la decisión, para *actualizar* dicha distribución de probabilidades; a la distribución resultante se le llamará *a posteriori* por ser un resultado *posterior* a la obtención de los datos, a diferencia de la *a priori* que es anterior. Entonces, al incorporar la información (datos) experimental acerca de los estados de la naturaleza, para modificar de acuerdo con ellos nuestra idea original (subjetiva) acerca de la distribución de probabilidades, estaremos mejorando nuestro proceso de decisión. La distribución a posteriori se calcula mediante la *regla de Bayes* que describiremos brevemente a continuación.

Sea z_i un dato resultante de un experimento realizado para obtener información acerca de los estados de la naturaleza; sea $P[\theta_j]$ la probabilidad a priori de que ocurra el estado θ_j y sean $P[z_i|\theta_j]$ y $P[\theta_j|z_i]$ las probabilidades condicionales de z_i dado θ_j, y de θ_j dado z_i, respectivamente. En la teoría de probabilidades (ref 2) se demuestra que

$$P[\theta_j|z_i]\ P[z_i] = P[z_i|\theta_j]\ P[\theta_j] \qquad (6.5)$$

donde $P[\theta_j|z_i]$, que es la probabilidad de que θ_j sea el verdadero estado de la naturaleza, dado que se tiene la evidencia (información) z_i, es la probabilidad *a posteriori*, que denotaremos por $P^1[\theta_j]$. haciendo esto obtenemos

$$P[\theta_j|z_i] = P^1[\theta_j] = \frac{P[z_i|\theta_j]P[\theta_j]}{P[z_i]} \qquad (6.6)$$

se puede demostrar que si hay n estados posibles de la

...

naturaleza, entonces

$$P\left[z_i\right]=\sum_{j=1}^{n} P\left[z_i|\theta_j\right]P\left[\theta_j\right] \qquad (6.7)$$

por lo que la ecuación enterior se puede escribir como

$$P'\left[\theta_j\right]=\frac{P\left[z_i|\theta_j\right]P\left[\theta_j\right]}{\sum_{j=1}^{n} P\left[z_i|\theta_j\right]P\left[\theta_j\right]} \qquad (6.8)$$

Si se cuenta con más de un dato, la ec 6.8 sigue siendo válida si usamos Z en vez de z_i.

Si aplicamos esta ecuación para los n estados posibles de la naturaleza obtendremos la *distribución de probabilidades a posteriori*. Si el espacio, Ω, de los estados de la naturaleza es continuo, se puede demostrar (ref 6) que la ecuación anterior se modifica de la siguiente manera:

$$\delta'(\theta)=\frac{h(z_i|\theta)\delta(\theta)}{\int_{\Omega} h(z_i|\theta)\delta(\theta)d\theta} \qquad (6.9)$$

en donde $\delta(\theta)$ y $\delta'(\theta)$ son, respectivamente, las distribuciones de probabilidades a priori y a posteriori de los estados de la naturaleza, y $h(z_i|\theta)$ es la distribución de probabilidades de los datos cuando el verdadero estado es θ.

Una vez que se cuenta con la distribución a posteriori de los estados de la naturaleza se pueden calcular las esperanzas a posteriori de las pérdidas asociadas a cada acción; la mejor acción será la asociada a la menor de esas esperanzas. En la fig 6.12 se presenta el diagrama de flujo de este método.

AQUI ENTRA FIG 6.12

...

Si procedemos en términos de funciones de decisión, el mínimo de los riesgos de Bayes a posteriori conduce a escoger la misma acción a la que se llega directamente en términos directos de las acciones, esto es (para el caso de estados de la naturaleza continuos)

$$B(d_i) = E\left[R(\theta, d_i(Z))\right] = \sum_{j=1}^{m} R(\theta_j, d_i(Z))\, P\left[\theta_j\right]$$

pero $R(\theta_j, d_i(Z)) = \sum_{k=1}^{n} L\left[\theta_j, d_i(z_k)\right] P\left[z_k | \theta_j\right]$

de donde

$$B(d_i) = \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{n} P\left[\theta_j\right] L\left(\theta_j, d_i(z_k)\right) P\left[z_k | \theta_j\right]$$

$$= \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{n} L\left[\theta_j, d_i(z_k)\right] \left\{P\left[\theta_j\right] P\left[z_k | \theta_j\right]\right\}$$

pero, de la ec 6.6

$$P\left[\theta_j\right] P\left[z_k | \theta_j\right] = P'\left[\theta_j\right] P\left[z_k\right]$$

por lo que, agrupando términos,

$$B(d_i) = \sum_{k=1}^{n} P\left[z_k\right] \sum_{j=1}^{m} L\left[\theta_j, d_i(z_k)\right] P'\left[\theta_j\right]$$

$$= \sum_{k=1}^{n} P\left[z_k\right] E\left[L(\theta_j, d_i(z_k))\right]$$

De esta ecuación se deduce que los mínimos valores de las esperanzas a posteriori de las pérdidas conducen a la mínima esperanza a posteriori del riesgo de Bayes; con esto queda demostrado que ambos procedimientos conducen a la misma solución óptima a posteriori. El diagrama de flujo de este proceso se muestra en la fig 6.13.

AQUI ENTRA LA FIG 6.13

Ejemplo 6.14. Considere la estimación del parámetro p de una distribución de probabilidades binomial. Suponga que se realizan N experimentos y que el número de *éxitos* es K. En

...

este caso el dato es "ocurrieron k éxitos", y el espacio de estados de la naturaleza, Ω, en este caso continuo, es $\Omega=\{\theta\leq p\leq 1\}$

La distribución de probabilidades de K es la binomial, es decir, $h(z_i|\theta) = P\left[K|p\right] = \binom{N}{K} p^K \quad (1-p)^{N-K}$

Si suponemos para p una distribución de probabilidades a priori uniforme en el intervalo de 0 a 1, es decir, $\delta(p)=1$ para $\theta \leq p \leq 1$, entonces el denominador de la ec 6.9 nos queda (ref 3):

$$\int_0^1 \binom{N}{K} p^K (1-p)^{N-K} \times 1 \, dp = \frac{1}{N-1}, \quad K = 1.2,\ldots,N$$

La distribución a posteriori de p es, entonces,

$$\delta'(p) = \frac{P\left[K|p\right] \times 1}{\frac{1}{N-1}} = \binom{N}{K} (N-1)\, p^K\, (1-p)^{N-K}$$

Ejemplo 6.15. En el ejemplo 6.12, referente a las pruebas de control de concreto, se tenía la siguiente distribución de probabilidades condicionales

z_i	$P\left[z_i\|\theta_1\right]$	$P\left[z_i\|\theta_2\right]$
z_1	0.80	0.40
z_2	0.20	0.60
$P\left[\theta_j\right]$	0.70	0.30

Si consideramos que la distribución de probabilidades a priori es la indicada en el último renglón de la tabla anterior, y que sólo realizamos una prueba de control de calidad, el denominador de la ec 6.8 será:

...

Si se observa z_1: $\sum_{j=1}^{2} P\left[z_1 | \theta_j\right] P\left[\theta_j\right] = 0.8 \times 0.7 + 0.4 \times 0.3 = 0.68$

Si se observa z_2: $\sum_{j=1}^{2} P\left[z_2 | \theta_j\right] = 0.2 \times 0.7 + 0.6 \times 0.3 = 0.32$

En consecuencia, la distribución a posteriori de θ es:

Si se observa z_1: $P'\left[\theta_1\right] = \frac{0.8 \times 0.7}{0.68} = 0.825$

$$P'\left[\theta_2\right] = \frac{0.4 \times 0.3}{0.68} = 0.175$$

Si se observa z_2: $P'\left[\theta_1\right] = \frac{0.2 \times 0.7}{0.32} = 0.437$

$$P'\left[\theta_2\right] = \frac{0.6 \times 0.3}{0.32} = 0.563$$

Estos resultados nos indican que si se observa z_1 nuestra confianza (la probabilidad a priori) acerca de θ_1 aumenta de 0.70 a 0.825, y acerca de θ_2 se reduce de 0.3 a 0.175. Si se observa z_2, la probabilidad de θ_1 se reduce de 0.7 a 0.437, y la de θ_2 aumenta de 0.30 a 0.563.

Ejemplo 6.16. Un contratista de construcciones desea escoger la longitud de unos pilotes prefabricados que se van a hincar hasta una capa de arena compacta con la suficiente resistencia para soportar las cargas que le transmitirá el pilote. Las longitudes de que dispone son 15 y 20m, y la profundidad a que supone se encuentra el manto resistente es de 15 ó 20 m. El precio unitario de los pilotes de 15 m, incluyendo colocación, transporte, etc. es de $1,000.00; el de 20 m es de $1,300.00.

En la obra se requieren 10 pilotes y deben comprarse juntos para reducir el costo de transportes a la obra. Los costos

totales son, entonces, de $10,000.00 y $13,000.00, para los pilotes de 15 y 20 m, respectivamente. Por lo tanto, si se compran pilotes de 15 m y la profundidad es de 20 m, la pérdida será de $23,000.00; si se usan pilotes de 20 m y la profundidad es de 15 m, la pérdida será de $13,000.00 más el costo del recorte de los 5 m restantes, que es de $5,000.00, lo cual da $18,000.00.

En la fig 6.14 se presenta el árbol de decisiones de este ejemplo, con las pérdidas expresadas en miles de pesos. Las acciones y los estados de la naturaleza son

a_0 : comprar pilotes de 15 m

a_1 : comprar pilotes de 20 m

θ_0 : la profundidad es 15 m

θ_1 : la profundidad es 20 m

AQUI ENTRA LA

Fig. 6.14 Arbol de decisiones del ejemplo 6.16

De la experiencia de sondeos realizados en la región donde se localiza la obra se supone que las probabilidades a priori son $P[\theta_0] = 0.6$ y $P[\theta_1] = 0.4$. Para determinar la profundidad del estrato en el sitio de interés, se planea realizar previamente un estudio geosísmico que no da resultados exactos debido a distorsiones de las ondas sísmicas ocasionadas por irregularidades del terreno a través del cual viajan, a errores de apreciación de la persona que interpreta los registros, etc. Suponga que los resultados que se obtienen se pueden

...

redondear a 15, 17.5 y 20 m. El encargado de las pruebas geosísmicas le indica al constructor que las probabilidades condicionales de observar cada uno de esos valores, dados θ_1 o θ_2, son

z_i	$P[z_i \mid \theta_0]$	$P[z_i \mid \theta_1]$
z_0: la prueba indica 15 m	0.6	0.1
z_1: la prueba indica 17.5 m	0.3	0.2
z_2 la prueba indica 20 m	0.1	0.7
$P[\theta_i]$	0.6	0.4

Supongamos que se realizó una prueba y el resultado fue z_2, con lo cual, aplicando la regla de Bayes, las probabilidades a posteriori son:

$$P'[\theta_0] = \frac{0.6 \times 0.3}{0.6 \times 0.3 + 0.4 \times 0.2} = 0.692$$

$$P'[\theta_1] = \frac{0.4 \times 0.2}{0.6 \times 0.3 + 0.4 \times 0.2} = 0.308$$

Con estas probabilidades las esperanzas de las pérdidas (riesgos de Bayes) son:

$$B(a_0) = E[L(a_0, \theta_i)] = 0.692 \times 10 + 0.308 \times 23 = 14.004$$

$$B(a_1) = E[L(a_1, \theta_i)] = 0.692 \times 18 + 0.308 \times 13 = 16.460$$

El mínimo de estos valores es 14.004, que corresponde a a_0. por lo cual la mejor decisión consiste en comprar pilotes de 15 m.

Ejemplo 6.17. Un ingeniero industrial del departamento de ingeniería sanitaria de una empresa que se dedica a estudios

...

y proyectos, se encuentra ante el problema de determinar la cantidad de materia orgánica contaminante que se puede tirar diariamente en un río. Evidentemente, esta decisión dependerá del gasto θ de agua que fluya por el río, el cual es función, entre otras cosas, de la profundidad del río y de la velocidad del agua. Debido a las dificultades y costos involucrados en las mediciones de la profundidad y la velocidad necesarias para calcular θ, se predecirá su valor usando un solo valor medido de la profundidad en un punto estratégico. Para calibrar la precisión de las predicciones se midieron cuidadosamente la velocidad media, v, el gasto, θ, y la profundidad del agua, z, en el punto de referencia, habiéndose ajustado una recta de regresión a los datos de θ/v versus z, aunque el error estándar de la estimación fue relativamente grande. Las acciones que se pueden tomar son $a_1, a_2, \ldots, a_n$, en donde cada una representa un cierto número de metros cúbicos por hora de materia contaminante que se puede verter al río.

Suponga que las pérdidas són (ref 2)

$$L(a_i,\theta) = -10\, a_i, \text{si } a_i \leq 0.1\theta$$

$$L(a_i,\theta) = -10\, a_i + 2e^{0.2(a_i - 0.1\theta)}, \text{si } a_i > 0.1\theta$$

Con base en la experiencia previa del ingeniero, éste asigna las siguientes probabilidades a priori a los estados de la naturaleza, los cuales redondeó a miles de m^3/h.

...

θ_i, en miles de m^3/h	$P[\theta_i]$
8	0.1
9	0.2
10	0.3
11	0.3
12	0.1

Con base en las mediciones detalladas que se realizaron en el río, se encuentra que la recta de regresión que relaciona a la profundidad, z, con θ/ν es $z = 2 + 3(\theta/\nu)$, y que la distribución conjunta de probabilidades $P[\theta,\nu]$, de θ y ν, es

$$P[8,2] = 0.1,\ P[9,2] = 0.2,\ P[10,2] = 0.2,$$
$$P[11,2] = 0.1, P[10,3] = 0.1,\ P[11,3] = 0.2$$
$$P[12,3] = 0.1$$

El ingeniero diariamente mide una vez la profundidad del río en el punto prestablecido, y con base en el resultado calcula las probabilidades a posteriori para cada valor del gasto, θ. Suponga que un *día específico* se obtiene el dato z = 13 m; este valor corresponde a alguna combinación de θ y ν tal que $2 + 3(\theta/\nu)$ sea 13 o un valor cercano, que según los datos usados al calcular la recta de regresión es casi imposible que difieran en más de 1.5 millares de m^3/h del valor calculado; de esos datos se estima que la probabilidad de obtener exactamente el valor correspondiente a $2 + 3(\theta/\nu)$ es de 0.5, y de que difiera en 1.5 millares de m^3/h en exceso es de 0.25, y en defecto de 0.25. Las diversas combinaciones de θ y ν

...

que dan un valor calculado de z que esté comprendido entre 13 - 1.5 = 11.5 y 13 + 1.5 = 14.5 son: $\theta = 8$, $\nu = 2$; $\theta = 10$, $\nu = 3$; $\theta = 11$, $\nu = 3$; y $\theta = 12$, $\nu = 3$; de ellas sólo la primera da exactamente $z = 13$, lo cual ocurre con una probabilidad de 0.5; las otras ocurren con probabilidad de 0.25, es decir,

$$P\left[z = 13 \mid \theta = 11,\ \nu = 3\right] = 0.5$$
$$P\left[z = 13 \mid \theta = 10,\ \nu = 3\right] = 0.25$$
$$P\left[z = 13 \mid \theta = 12,\ \nu = 3\right] = 0.25$$
$$P\left[z = 13 \mid \theta = 8,\ \nu = 2\right] = 0.25$$

Aplicando el criterio de Bayes, las probabilidades conjuntas a posteriori de (θ_i, ν_j) se calculan con la fórmula

$$P'\left[\theta_i, \nu_j\right] = \frac{P\left[z = 13 \mid \theta_i, \nu_j\right] P\left[\theta_i, \nu_j\right]}{\Sigma P\left[z = 13 \mid \theta_i, \nu_j\right] P\left[\theta_i, \nu_j\right]}$$

de donde

$$P'\left[11,3\right] = \frac{0.5 \times 0.2}{0.5 \times 0.2 + 0.25 \times 0.1 + 0.25 \times 0.1 + 0.25 \times 0.1}$$

$$= \frac{0.1}{0.175} = 0.571$$

$$P'\left[10,3\right] = \frac{0.25 \times 0.1}{0.175} = 0.143$$

$$P'\left[12,3\right] = \frac{0.25 \times 0.1}{0.175} = 0.143$$

$$P'\left[8,2\right] = \frac{0.25 \times 0.1}{0.175} = 0.143$$

y las demás combinaciones de θ y ν tienen probabilidad nula, ya que las probabilidades condicionales correspondientes $P\left[z = 13 \mid \theta,\ \nu\right]$ valen cero.

...

Las probabilidades marginales a posteriori de θ son

$$P'\left[\theta_i\right] = \sum_{j=1}^{2} P\left[\theta_i, \nu_j\right]$$

Lo cual da como resultado

$$P'\left[8\right] = 0.143$$
$$P'\left[9\right] = 0.000$$
$$P'\left[10\right] = 0.143$$
$$P'\left[11\right] = 0.571$$
$$P'\left[12\right] = 0.143$$
$$\text{Total} \quad 1.000$$

La esperanza de la pérdida (riesgo de Bayes) asociada a esta distribución de probabilidades a posteriori, para $a_i = 0.8$, es

$$E\left[L(0.8,\theta_i)\right] = (-10 \times 0.8) \times 0.143 + (-10 \times 8) \times 0.143 + (-10 \times 0.8) \times 0.571 + (-10 \times 8) \times 0.143 = -8.0$$

Para $a_i = 1.0$

$$E\left[L(1.0,\theta_j)\right] = (-10 \times 1 + 2e^{0.2(1-0.1x8)}) \times 0.143 + (-10 \times 1 \times 0.143 + (-10 \times 1) \times 0.571 + (-10 \times 1) \times 0.143 = -9.70$$

Para $a_i = 1.1$

$$E\left[L(1.1,\theta_j)\right] = (-10 \times 1.1 + 2e^{0.2(1.1-0.1x8)}) \times 0.143 + (-10 \times 1.1 + 2e^{0.2(1.1-0.1x10)}) \times 0.143 + (-10x1.1) \times 0.571 + (-10 \times 1.1) \times 0.143 = -10.40$$

Para $a_i = 1.2$

$$E\left[L(1.2,\theta_j)\right] = (-10 \times 1.2 + 2e^{0.2(1.2-0.1x8)}) \times 0.143 + (-10 \times 1.2 + 2e^{0.2(1.2-0.1x10)}) \times 0.143 + (-10 \times 1.2 + 2e^{0.2(1.2-0.1x11)}) \times 0.571 + (-10 \times 1.2) \times 0.143 = -10.23$$

...

El mínimo de estos riesgos de Bayes es -10.40, que corresponde a la acción de verter al río 1.1 m^3/h de materia contaminante, el día específico de la medición. Por supuesto, la decisión cambiará de día a día, dependiendo del valor de z que se haya registrado.

Ejemplo 6.18. En una ciudad se dispone de un edificio antiguo construido de concreto reforzado; se teme que en las condiciones actuales no se pueda instalar en él una fábrica de hilados y tejidos. Por este motivo se comisiona a un ingenieros para que dé su veredicto acerca de cuál de las siguientes acciones tomar:

a_1: el edificio sí se puede utilizar para los nuevos fines

a_2 el edificio sólo se puede usar para oficinas

a_3 el edificio debe repararse para acondicionarlo para fábrica.

De acuerdo con las prácticas de diseño que existían en la época en que se construyó el edificio, el ingeniero estima que la resistencia del concreto tuvo uno de los siguientes valores:

θ_1: 140 kg/cm^2

θ_2: 210 kg/cm^2

θ_3: 280 kg/cm^2

cada uno con las siguientes probabilidades a priori:

$P[\theta_1] = 0.3$

$P[\theta_2] = 0.6$

$P[\theta_3] = 0.1$

...

Las pérdidas que se estima van a ocurrir se presentan en la siguiente tabla, en centenas de miles de pesos.

a_i \ θ_j	θ_1	θ_2	θ_3
a_1	30	5	-5
a_2	15	0	0
a_3	10	10	10

Para mejorar su información el ingeniero decide obtener dos corazones (muestras) de la losa de uno de los pisos, y probarlos a compresión simple para medir su resistencia. Si su corazón resiste menos de 175 kg/cm^2 supone que correspondió a un concreto de 140 (favorece a θ_1), si resiste entre 176 y 245, supone que favorece a θ_2, y si resiste más de 245, entonces favorece a θ_3. Debido a que la resistencia del concreto aumenta con el tiempo, el ingeniero asigna las siguientes probabilidades condicionales, $P\left[z_i|\theta_i\right]$, de que ocurran las diversas observaciones, en donde,

z_1 = la prueba favorece a θ_1

z_2 = la prueba favorece a θ_2

z_3 = la prueba favorece a θ_3

z_i	$P\left[z_i\|140\right]$	$P\left[z_i\|210\right]$	$P\left[z_i\|280\right]$
z_1	0.7	0.2	0.0
z_2	0.3	0.6	0.3
z_3	0	0.2	0.7

...

Al probar los dos corazones se obtienen z_1 y z_2, es decir, una indicó que el estado de la naturaleza era 140 kg/cm^2, y el otro que era 210 kg/cm^2. Suponiendo que las muestras son independientes, las probabilidades de obtener estas muestras, dados los estados de la naturaleza, $P\left[z_1, z_2 | \theta_i\right]$, son:

$$P\left[z_1, z_2 | 140\right] = P\left[z_1 | 140\right]\ P\left[z_2 | 140\right] = 0.7 \times 0.3 = 0.21$$
$$P\left[z_1, z_2 | 210\right] = P\left[z_1 | 210\right]\ P\left[z_2 | 210\right] = 0.2 \times 0.6 = 0.12$$
$$P\left[z_1, z_2 | 280\right] = P\left[z_1 | 280\right]\ P\left[z_2 | 280\right] = 0.0 \times 0.3 = 0$$

La s probabilidades a posteriori son, entonces,

$$P'\left[\theta_1\right] = \frac{0.3 \times 0.21}{0.3 \times 0.21 + 0.6 \times 0.12 + 0.1 \times 0} = \frac{0.063}{0.135} = 0.47$$

$$P'\left[\theta_2\right] = \frac{0.6 \times 0.12}{0.135} = \frac{0.072}{0.135} = 0.53$$

$$P'\left[\theta_3\right] = \frac{0.1 \times 0}{0.135} = 0$$

Estos resultados eliminan la posibilidad de que la resistencia haya sido de 280 kg/cm^2, puesto que su probabilidad a posteriori es cero. Las esperanzas de las pérdidas son ahora:

$$E\left[L(a_1)\right] = 30 \times 0.47 + 5 \times 0.53 + (-5) \times 0 = 40.6$$
$$E\left[L(a_2)\right] = 15 \times 0.47 + 0 \times 0.53 + 0 \times 0 = 7.05$$
$$E\left[L(a_3)\right] = 10 \times 0.47 + 10 \times 0.53 + 10 \times 0 = 10$$

La mínima de estas pérdidas es 7.05 que corresponde a la acción a_2 de limitar para oficinas el uso del edificio.

REFERENCIAS DEL CAPITULO 6

1. J.R.Dixon, "Design engineering: inventiveness, analysis, and decision making", McGraw-Hill (1966)

2. J.R. Benjamin y C.A. Cornell, "Probability, statistics, and decision for civil engineers", McGraw-Hill Book Co. Inc. (1970)

3. B.W. Lindgren, "Statistical Theory", McMillan Co. (1969)

4. O.A. Rascón, "Stochastic model to fatigue", *Journal of the Engrg. Mech. Div., ASCE*, vol. 93, no. EM3, pp. 147-156 (1967)

5. M. Tribus, "Rational descriptions, decisions and designs", Pergamon Publ. Co. (1969)

6. B.V. Gnedenko, "The theory of probability", Chelsea Publ. Co. (1962)

TEORIA DE DECISIONES

BIBLIOGRAFIA

1.- EASTON, ALLAN, "Complex Managerial Decisions Involving Múltiple Objetives". New York, J. Willey, (1973)

2.- THIERAUF, ROBERT J, "Toma de Decisiones por medio de Investigación de Operaciones", Limusa-Wiley, (1972)

3.- SAGE, ANDREW P, "Estimation Theory with Applications to Communications and Control", McGraw-Hill, (1971)

4.- POLLACK, SOLOMON L, "Decision Tables; Theory and Practice" Wiley Interscience, (1971)

5.- LEE SANG M, "Goal Programming for Decision Analysis", Auerbach, (1972)

6.- PETERS, WILLIAM S, "Statistical Analysis for Business Decision"

7.- SAWARAGI, YOSHIKAZU, "Statistical Decision Theory in Adaptive Control Systems"

8.- HAYS, WILLIAM LEE, "Statistics, Probability, Inference and Decision", Holt, Rinehart and Winston, (1970)

9.- ACKOFF, RUSSELL LINCOLN, "Choise, Communication, and Conflict A System's Approach to the Study of Human Behavior", Pennsylvania, National Science Foundation (1967)

10.- BELLMAN, RICHARD, "Adaptive Control Processes: A Guide Tour", Princeton, New Jersey, Princeton University Press (1971)

11.- BIERMAN, HAROLD, JR, "The Capital Budgeting Decision. Economic Analysis and Financing of Investment Projects", 2a Ed, The McMillan Company (1966)

12.- BRILLOVIN, LEON, "Scientific Uncertainty and Information" New York, Academic Press, (1964)

13.- BROSS, IRWIN D J, "Design for Decision", The McMillan Company, (1961)

14.- CRAMER, ROBERT H, "Decision Models for the Selection of Research Projects"

15.- CHERNOFF, HERMAN, "Elementary Decision Theory", John Wiley & Sons (1959)

16.- HADLEY, G. "Introduction to Probability and Statistical Decision Theory", Holden-Day Inc. (1967)

17.- KIRBY, MICHAEL J L, "The Current State of Chance-Constrained Programming", The Technology Institute The College of Arts and Science. Northwestern University Paper presented at the International Symposium on Mathematical Programming, Princeton University, (August 15, 1967)

18.- LESSER, ARTHUR, JR, "Decision-Making. Criteria for Capital Expenditures". Papers and Discussions of the Fourth Summer Symposium of the Engineering Economy Division. American Society for Engineering Education, June 19-20, 1965. Illinois Institute of Technology. Hoboken, New Jersey, The Engineering Economist Stevens Institute of Technology (1966)

19.- MACHOL, ROBERT E. "Recent Developments in Information and Decision Processes", The McMillan Company (1962)

20. McMillan, CLAUDE, "Systems Analysis. A Computer Approach to Decision Models", Richard D. Irwin Inc, (1965)

21.- MILLER, DAVID W., "Executive Decisions and Operations Research", Prentice-Hall, (1969 2a ed.)

22.- MILLER, DAVID W., "The Structure of Human Decisions", Prentice-Hall, Inc. (1967)

23.- NADDOR, ELIEZER, "Inventory Systems", J. Wiley (1966)

24.- RAIFFA, HOWARD, "Decision Analysis; Intoductory Lectures on Making Choices Under Uncertainty", Addison-Wesley (1968)

25.- ROSENBLUETH, EMILIO, "Decisiones Eticas en Ingeniería", Instituto de Ingeniería, Informe No 275

26.- SIMON, HERBERT A, "Theories of Decision Making in Economics and Behavioral Science"

27.- Symposium on decision Making in National Science Policy, London, (1967)
Decision Making in National Science Policy, Ed By Antony DeRevck, Maurice Goldsmith and Julie Knight. London, J&A. Churchill (1968)

28.- THEIL, HENRI, "Studies in Matematical and Managerial Economics. Optimal Decision rules for Goverment and Industry", North-Holland Publishing Company, (1964)

29.- CANALES, R., GUILLEN, S.T. y Marcos, J., "Toma de Decisiones con Objetivos Múltiples", Informe 368 (marzo, 1976) del Instituto de Ingeniería, UNAM.

30.- CANALES, R., GUILLEN, S.T. y Marcos, J., "Toma de Decisiones con Objetivos Múltiples. Selección de caminos de Mano de Obra en el Estado de Sonora". Informe del Instituto de Ingeniería, UNAM, a la secretaría de Obras Públicas (1976)

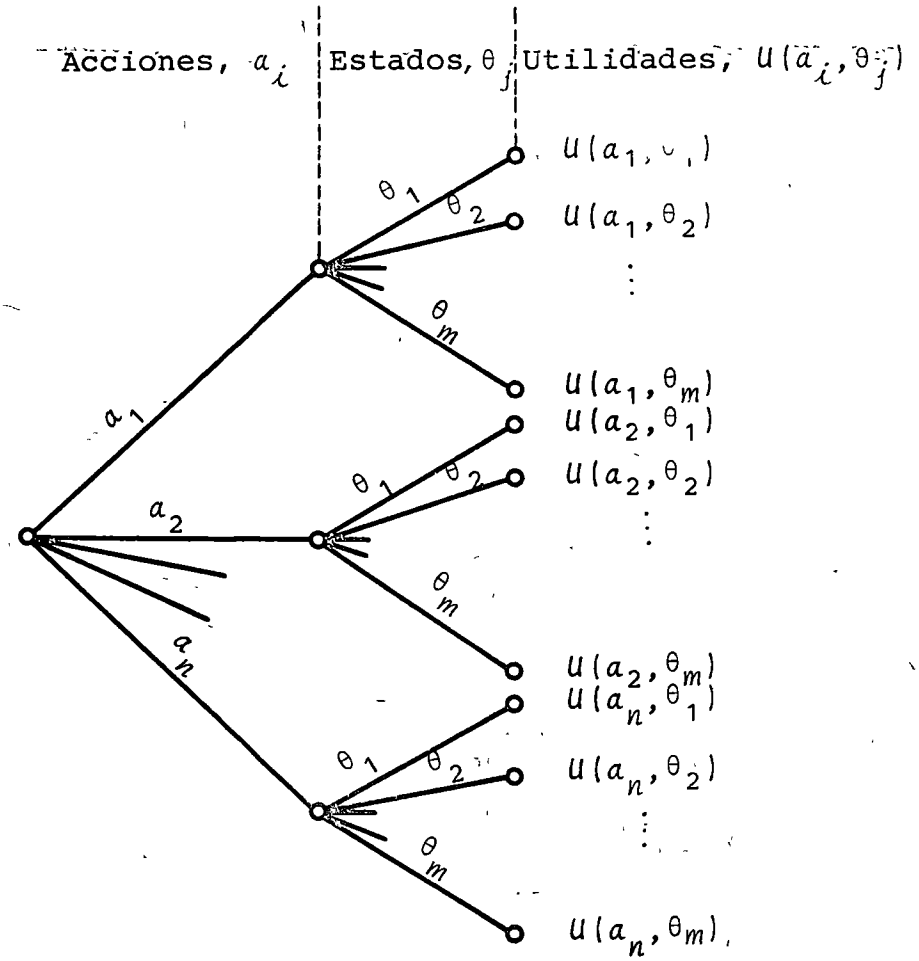


Fig 6.1 Arbol de decisiones

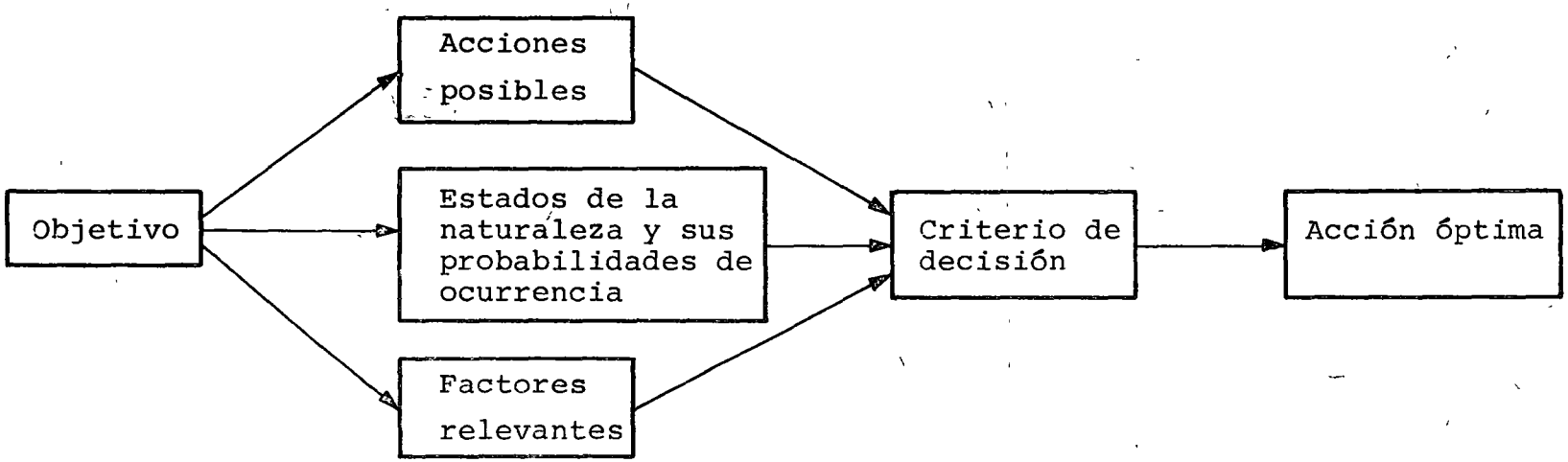


FIG 6.2 DIAGRAMA DEL PROCESO DE DECISION

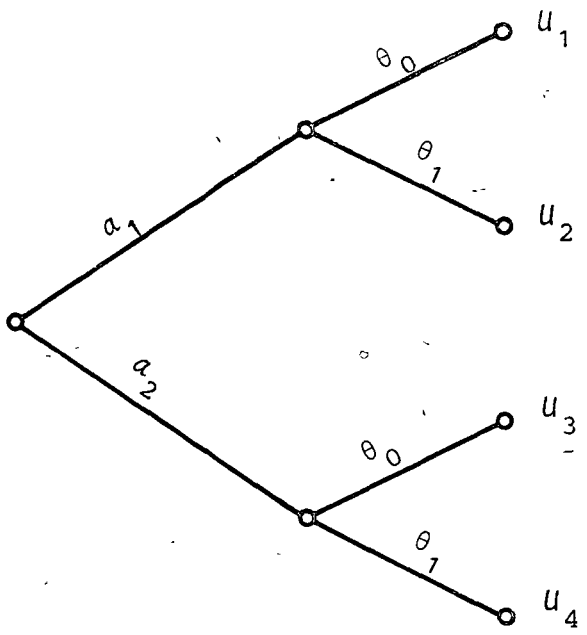


Fig 6.3 Arbol de decisiones del ejemplo 6.1

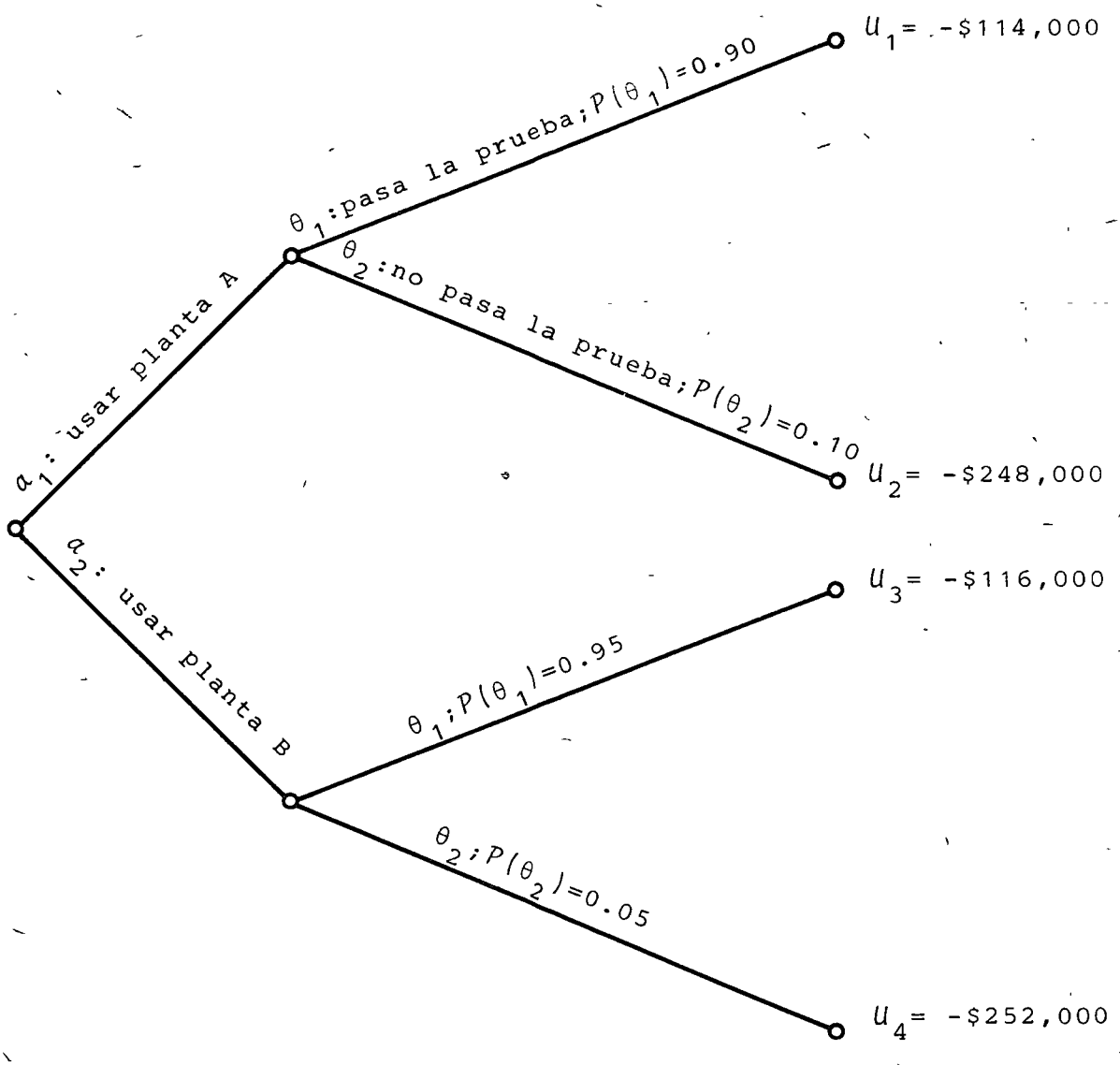


Fig 6.4 Arbol de decisiones del ejemplo 6.2

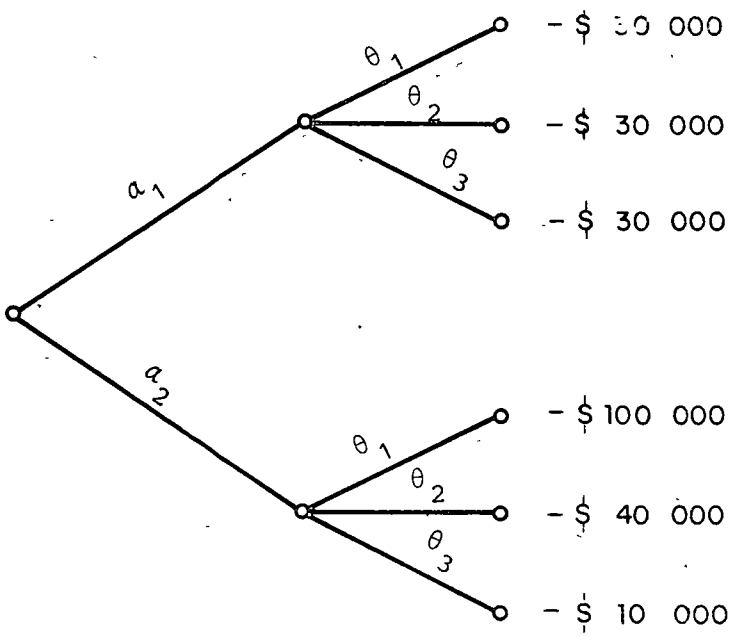


Fig 6.5 Arbol de decisiones del ejemplo 6.3

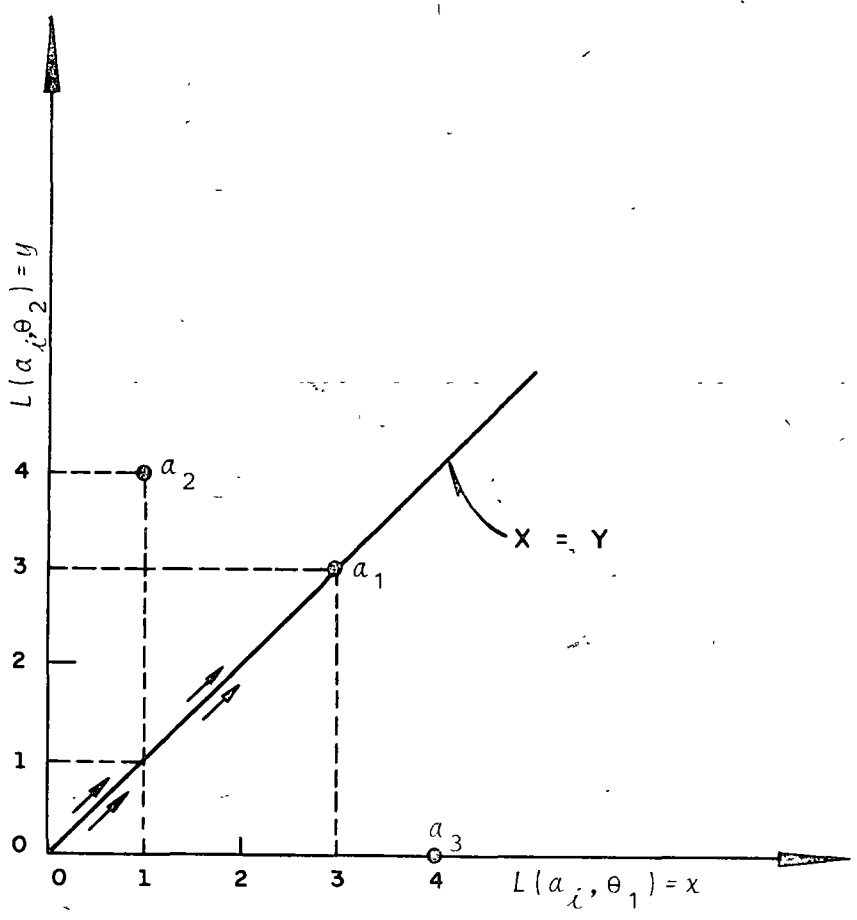


Fig 6.6 Determinación gráfica de la acción minimax

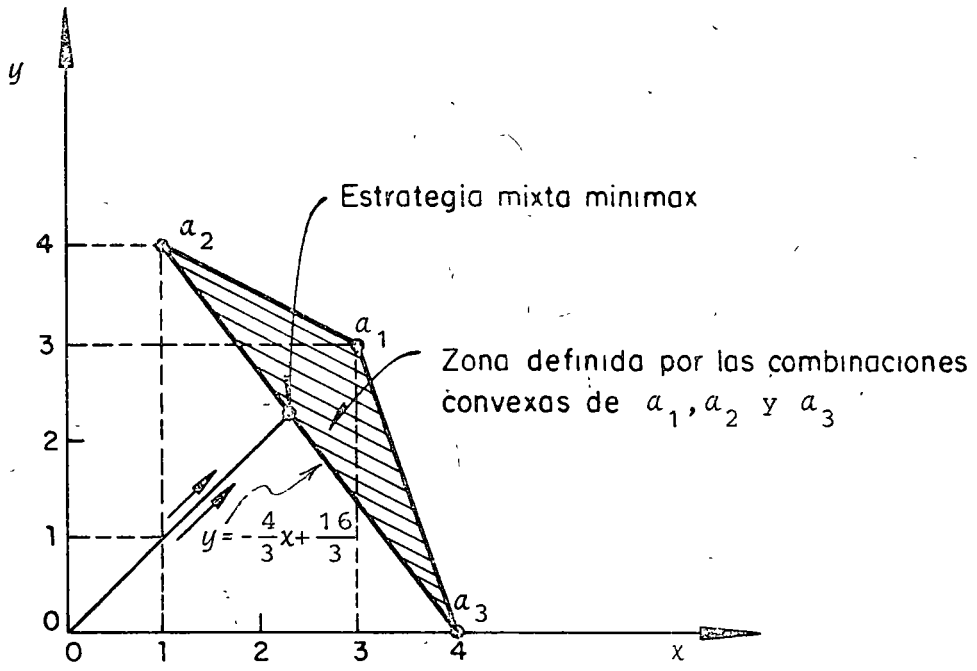


Fig 6.7 Determinación gráfica de la estrategia mixta minimax

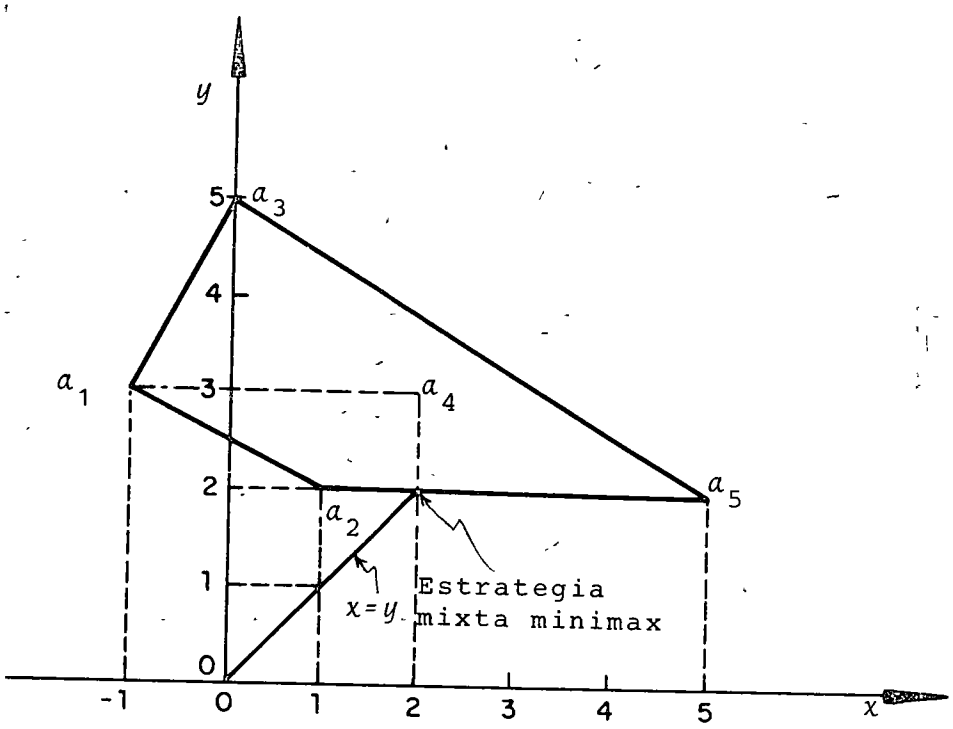


Fig 6.8 Determinación de la estrategia mixta del ejemplo 6.7

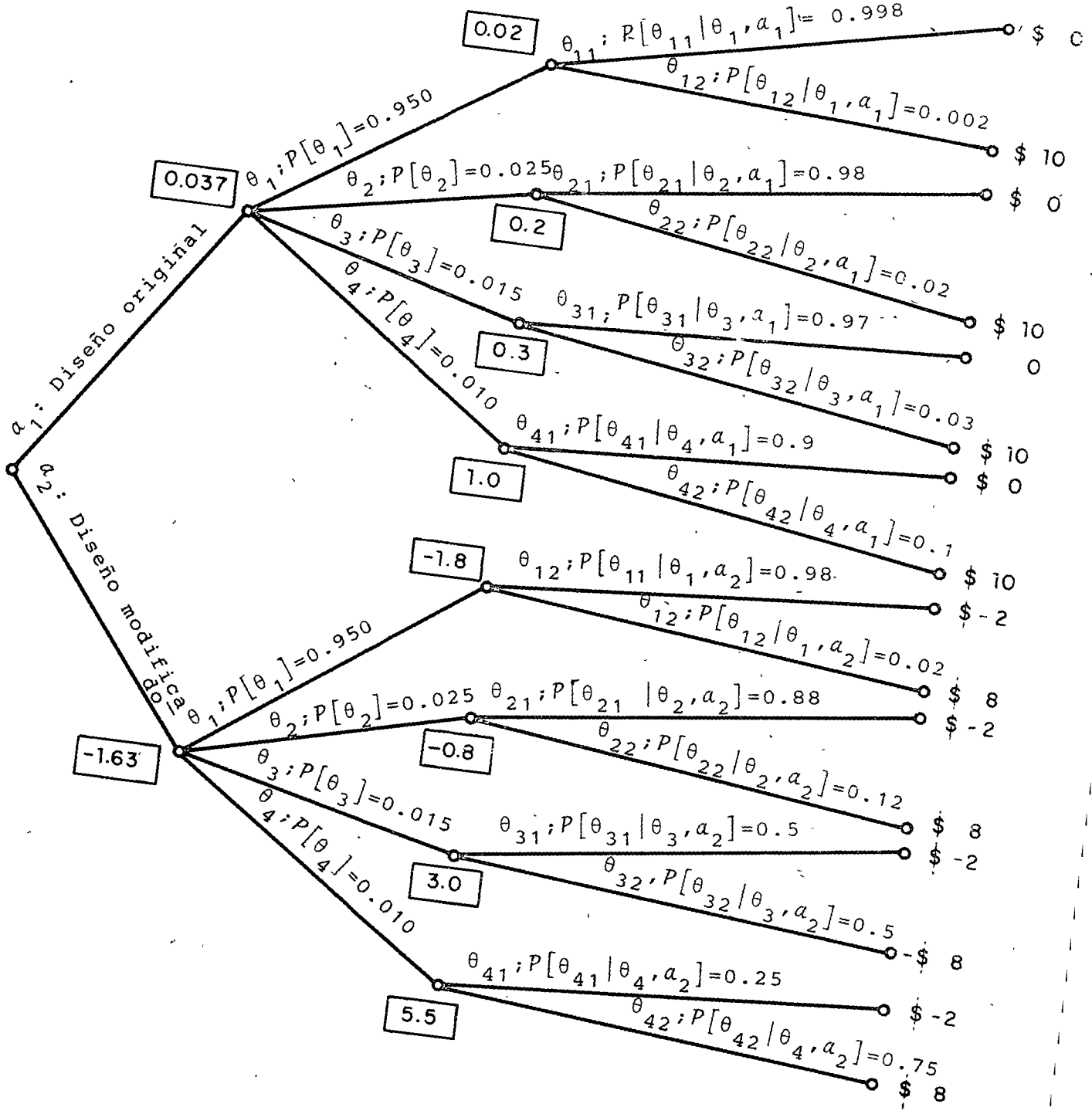


Fig 6.9 Arbol de decisiones del ejemplo 6.9

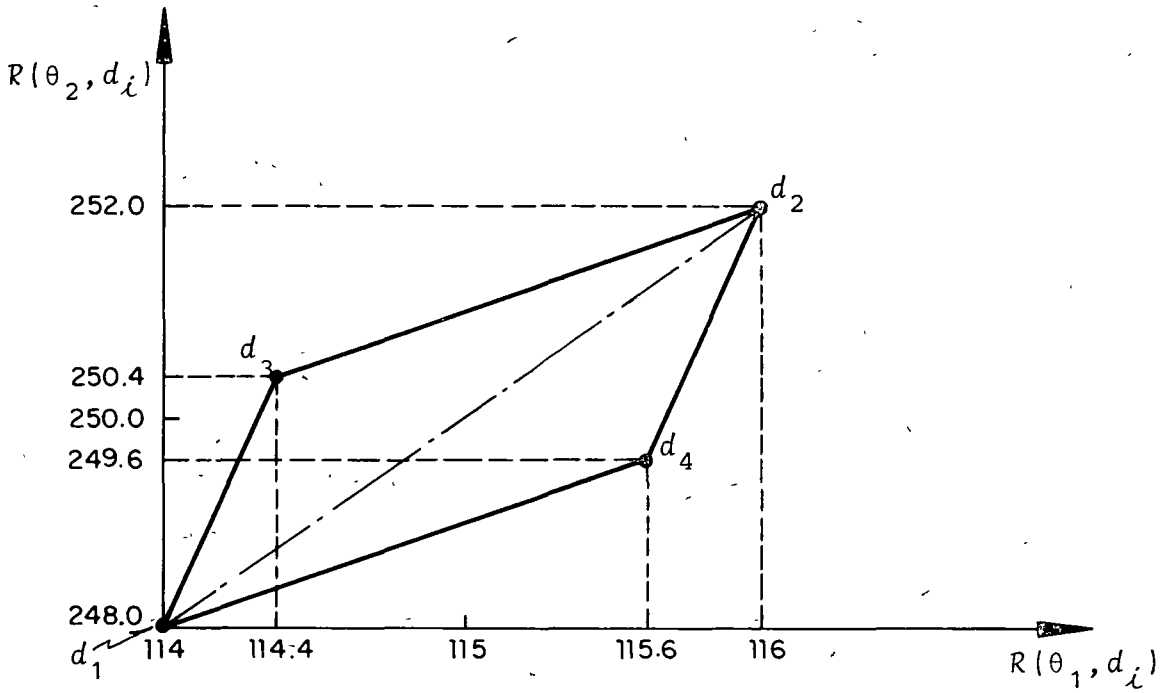


Fig 6.10 Reglas de decisión del ejemplo 6.12

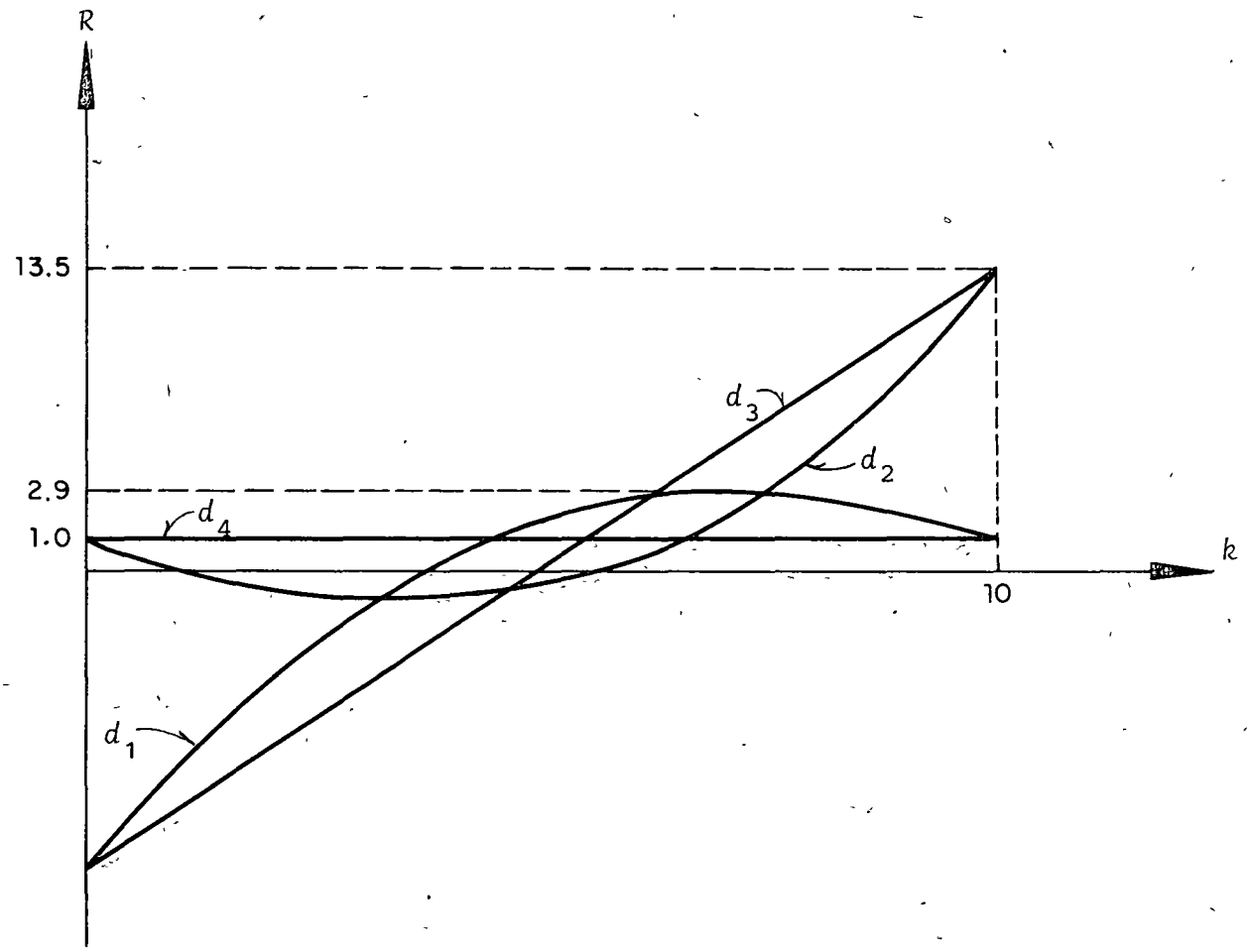


Fig 6.11 Funciones de riesgo del ejemplo 6.13

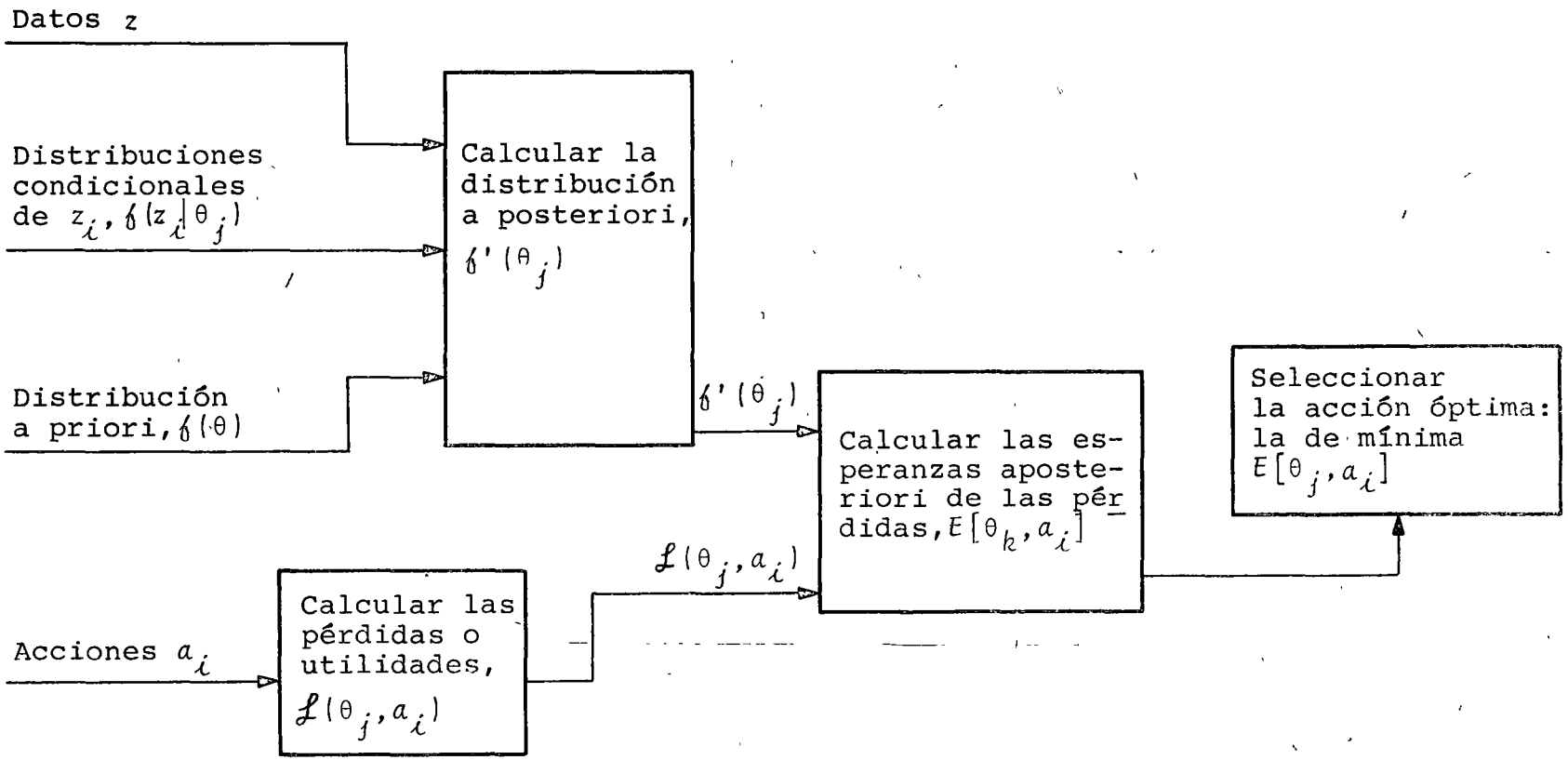


FIG 6.12 DIAGRAMA DE FLUJO PARA ESCOGER LA ACCION OPTIMA EN TERMINOS DE LAS PROBABILIDADES A POSTERIORI

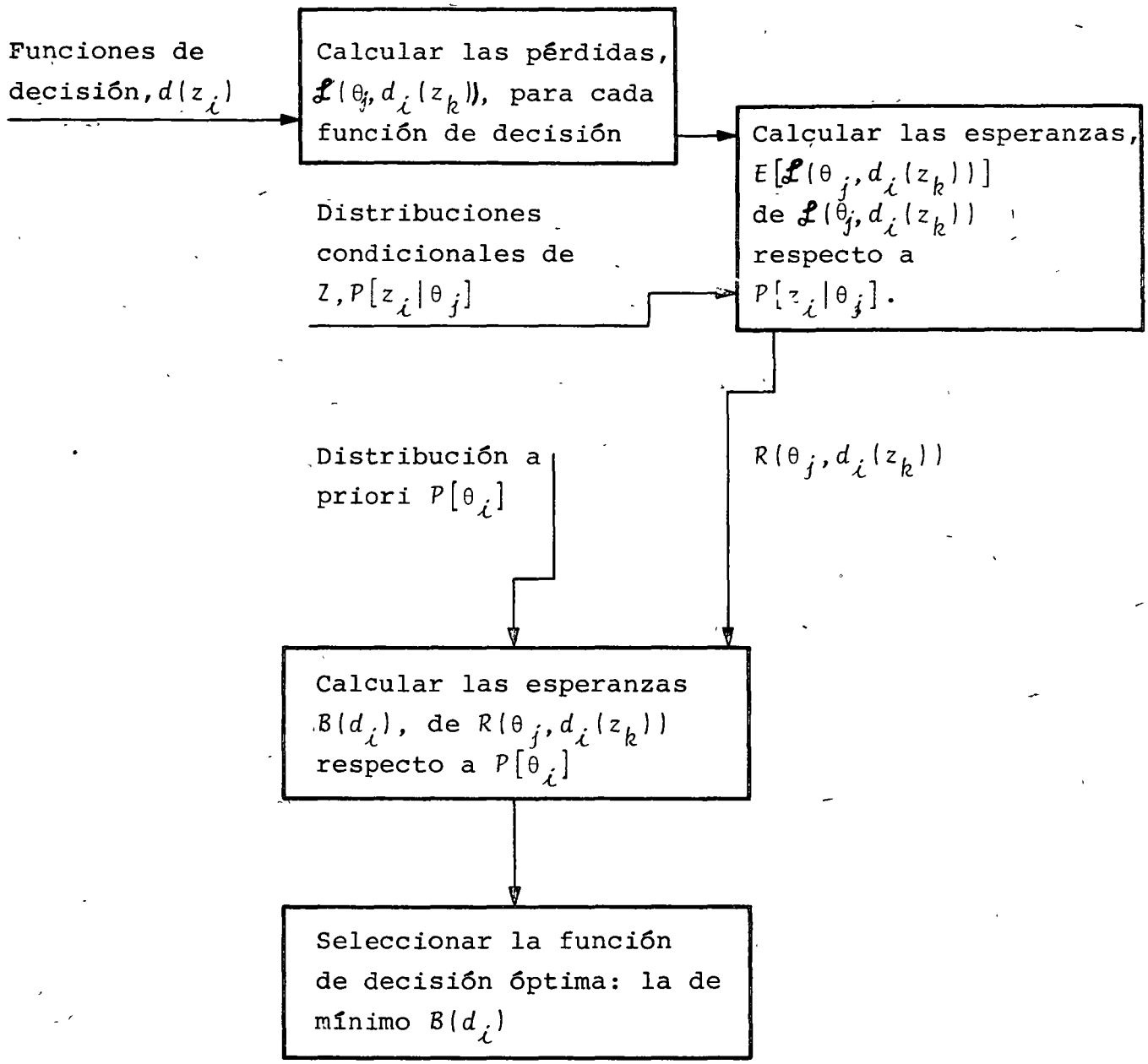


FIG 6.13 DIAGRAMA DE FLUJO PARA ESCOGER LA FUNCION DE DECISION OPTIMA

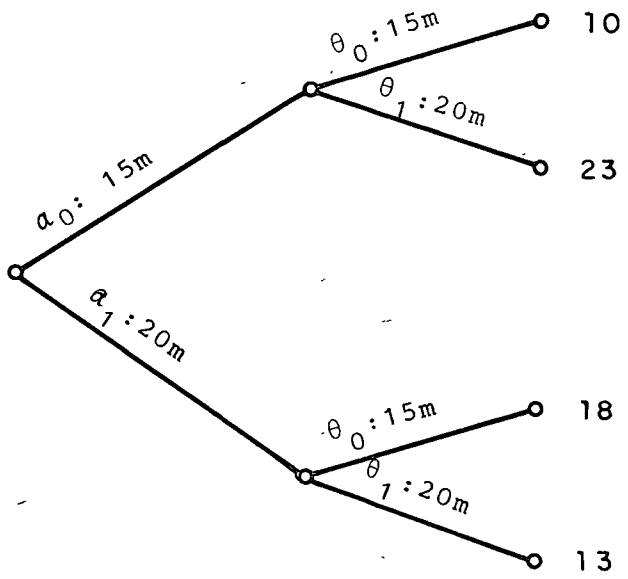


Fig 6.14 Arbol de decisiones del ejemplo 6.16

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ANALISIS DE INVERSIONES Y APLICACIONES

DR. FELIPE OCHOA ROSSO

Julio de 1977

ESTRUCTURA DEL PROBLEMA DE SELECCION OPTIMA DE INVERSIONES

por el

Dr. Felipe Ochoa*

I. INTRODUCCION

Las diversas empresas que conforman los sectores agropecuario, industrial y de servicios de una economía requieren, para la producción de bienes o servicios, de insumos diversos así como de recursos humanos y de capital. Los recursos de capital, proporcionados por diversas fuentes financieras se utilizan para la operación de la empresa y se registran contablemente en las llamadas *cuentas de activo*, con una determinada composición. Esta composición, en términos generales, está integrada por los siguientes conceptos:

- Efectivo
- Cartera de Valores
- Cuentas por Cobrar
- Inventarios
- Activo Fijo
- Otros

Cada uno de estos conceptos obedece a un fin específico. Por ejemplo, el renglón de efectivo permite liquidez a la empresa para cubrir sus obligaciones inmediatas; la cartera de valores ayuda igualmente a mantener un grado un tanto menor de liquidez, permitiendo un rendimiento adicional sobre el excedente del efectivo ocioso.

El activo fijo lo constituyen las inversiones de recursos, realizadas para adquirir bienes necesarios en la operación de la empresa, por un lapso mayor de un año. Los servicios proporcionados por una pieza de maquinaria se tendrán durante varios períodos, y de acuerdo con principios de contabilidad

* Director General de FOA, S.C. Consultores.

generalmente aceptados, el costo del activo se carga en forma diferida a dichos períodos.

De la Tabla 1 es evidente la importancia que tiene en las empresas la administración efectiva de estas inversiones, pues, a excepción hecha del comercio, en todos los demás sectores, el activo fijo representa más del 50 porciento de los recursos totales. En el caso de las instituciones de crédito mexicanas, esta cifra fluctua alrededor del 2 % de los recursos totales e incluye la agrupación de cuentas registradas como: mobiliario y equipo, e inmuebles y acciones de sociedades inmobiliarias.

En la Fig. 1 se muestra la evolución de la inversión anual total en el país (Formación bruta interna de capital fijo), constituida por los bienes que emplea la actividad económica en los procesos de producción de otros bienes y servicios.

Al final de un año dado, el país posee un acervo de capital fijo derivado de las inversiones anteriores del Estado, las empresas y los particulares. Durante un ciclo anual el acervo se ve afectado porque parte de él se elimina mediante la depreciación, obsolescencia o destrucción, en tanto que las nuevas inversiones proporcionan un flujo continuo de nuevos activos fijos para reemplazar aquellos que se consumen y para incrementar el tamaño del acervo.

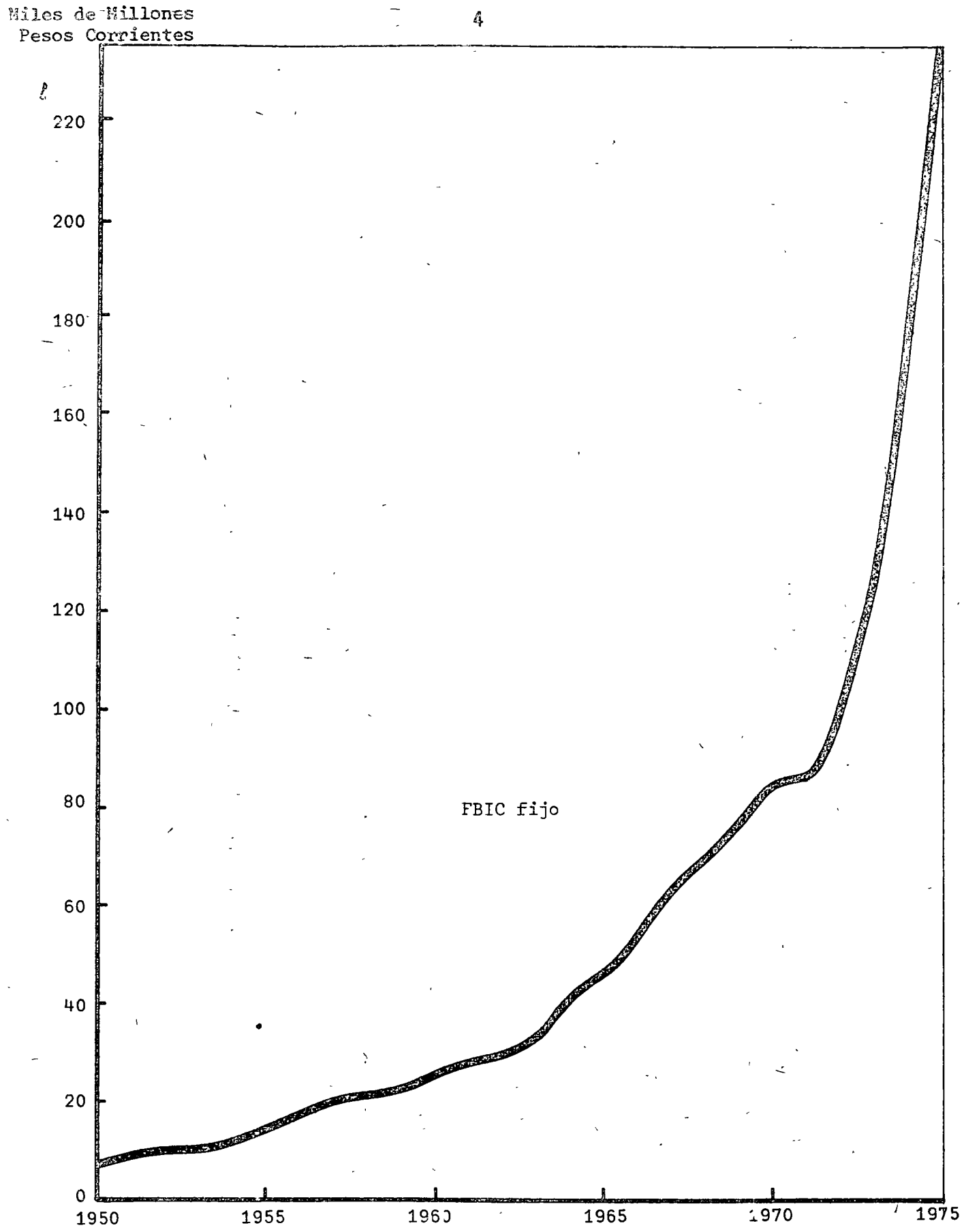
La formación bruta interna de capital fijo (FBIC) queda integrada por las obras de construcción, maquinaria y equipo, cultivos permanentes, animales de trabajo, de pié de cría y esquila.

Las cifras anteriores son indicativas de la necesidad de tomar las decisiones relacionadas con inversiones en activo fijo, (las cuales por lo general se

EMPRESAS DEL SECTOR	EFECTIVO Y VALORES	CUENTAS POR COBRAR	INVENTARIOS	ACTIVO FIJO Y OTROS
AGROPECUARIO	10 %	10 %	15 %	65 %
INDUSTRIAL	12 %	18 %	20 %	50 %
COMERCIO	10 %	30 %	30 %	25 %
SERVICIOS PUBLICOS	12 %	10 %	8 %	/0 %

Fuente: U.S. Treasury Dept. IRS., Statistics of Income, 1961-62.

TABLA 1. COMPOSICION DE ACTIVOS POR GRUPOS DE EMPRESAS



Fuente: Banco de México: Cuentas Nacionales y Acervos de Capital. Apéndice III. Oficinas de Cuentas de Producción e Informes Anuales.

FIG. 1. NIVEL DE INVERSION MEXICANA EN ACTIVOS FIJOS

presentan ante un marco de incertidumbre), con la mayor información posible, que permita evaluar y seleccionar los proyectos de inversión, a modo de optimizar las consecuencias estimadas de dicha selección, tanto en el contexto empresarial como en el contexto socioeconómico del sector público.

II. EL PROCESO DE INVERSION

Los objetivos y metas de desarrollo de una empresa implicarán periódicamente la necesidad de tomar decisiones respecto a la conveniencia de aumentar o reemplazar activos fijos. El proceso de decisión puede estructurarse en una serie de pasos a seguir, a saber:

a. Identificación de la necesidad de una decisión o de una oportunidad de inversión.

b. Formulación de cursos alternativos de acción para satisfacer dicha necesidad o de aprovechar dicha oportunidad.

c. Evaluación de las alternativas de inversión, en términos de su contribución a la consecución de metas.

d. Selección de una o varias alternativas de inversión, o proyectos, para implantación.

Para resolver los dos primeros pasos se requiere de intuición y juicio, aunados a la experiencia del ejecutivo a cargo del problema. Para la evaluación de alternativas existe toda una teoría formal de evaluación de beneficios y costos de los proyectos de inversión, basada en el *valor del dinero a través del tiempo*. Esta evaluación toma en cuenta que las erogaciones asociadas a un proyecto de inversión, y sobre todo, la recuperación económica del mismo, implican un horizonte de tiempo mayor de un período anual.

Los criterios derivados de dicha *teoría de evaluación de proyectos*, que permiten juzgar sobre la bondad de un proyecto individual para una determinada empresa, son muy variados. Los más utilizados en la práctica son: el valor presente neto (VPN), la tasa interna de recuperación, el período de pago y las relaciones beneficio-costo.

Tocante a la selección de proyectos de inversión que pasarán a formar parte del activo fijo de la empresa, esta es necesaria, ya que por lo general los recursos financieros o de otra índole, con que se cuenta en cada ejercicio fiscal, no son suficientes para invertir en todos aquellos proyectos cuya bondad ha sido probada en la fase de evaluación.

El problema de selección de inversiones se define por tanto como: *el problema decisional de determinar el subconjunto de proyectos que, satisfaciendo las restricciones propias de la empresa, maximiza el beneficio esperado de la misma.*

En consecuencia, el problema de selección de inversiones es un problema de optimización. Lo anterior ha permitido la utilización de las herramientas metodológicas de la Investigación de Operaciones en la solución de esta clase de problemas. En particular la Teoría de Optimización ha contribuido al planteamiento analítico de modelos de selección de inversiones, asi como al desarrollo de algoritmos de solución ad hoc para dichos modelos.

III. CLASIFICACION DE LOS PROBLEMAS DE SELECCION DE INVERSIONES

Para efectos de estructurar formalmente el estudio de selección de proyectos de inversión mediante la metodología de la Teoría de Optimización, se presenta a continuación una clasificación sistemática de los problemas de inversiones (Ver Fig. 2).

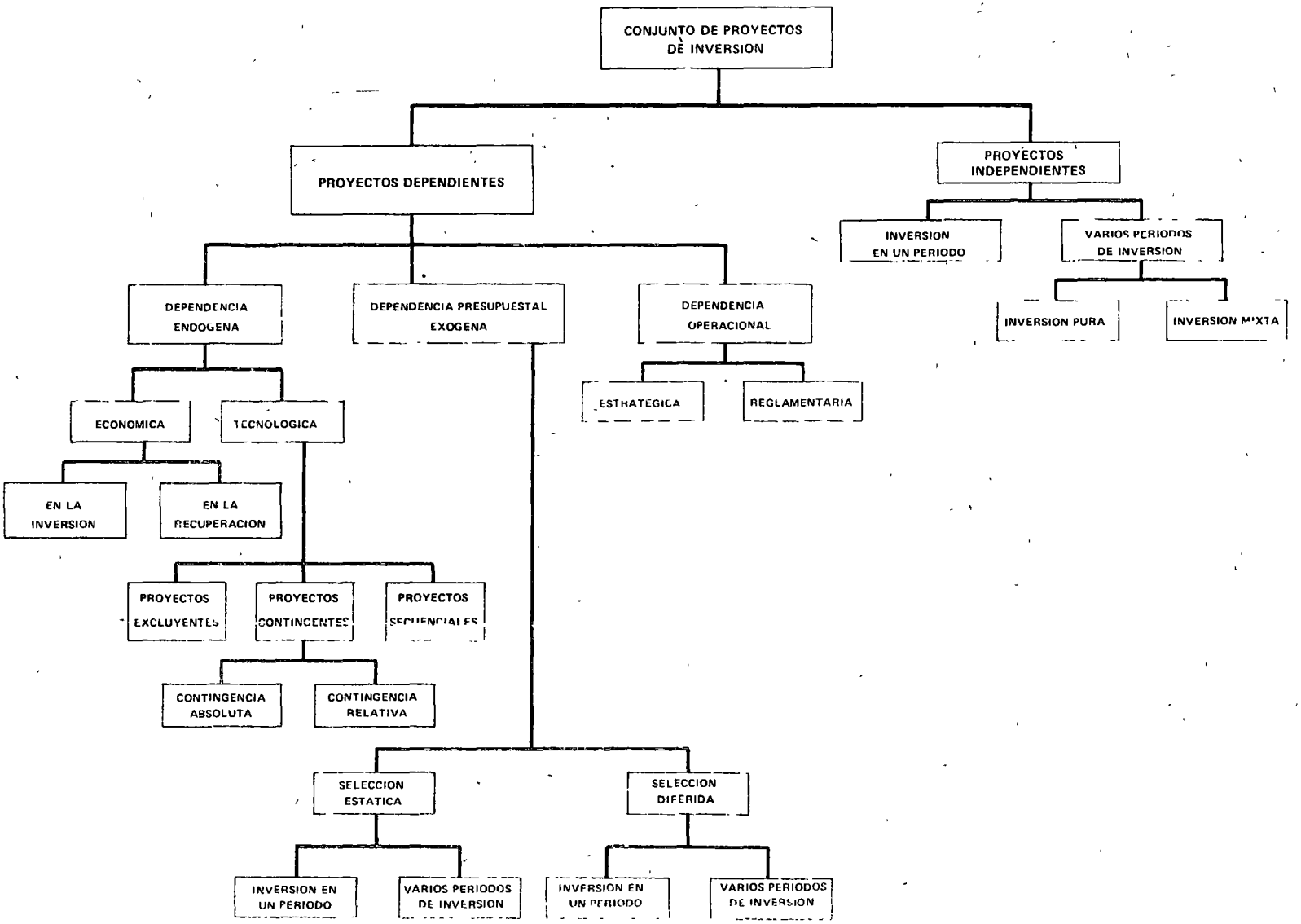


FIG 2 CLASIFICACION DE PROBLEMAS DE SELECCION DE INVERSIONES

La estructura arbolada que se emplea para la clasificación, no pretende ser exhaustiva y puede ampliarse tanto horizontal como verticalmente. La metodología de selección de inversiones requiere la distinción de proyectos en dependientes e independientes. A continuación se describen con detalle los tipos de dependencia.

3.1 DEPENDENCIA ENDOGENA

Esta forma de dependencia se presenta debido a la naturaleza propia de los proyectos o por condiciones internas de diversa índole. Se considerarán los siguientes tipos de dependencia endógena:

1. Dependencia Económica

Este tipo de dependencia puede presentarse en lo tocante al monto de las inversiones o con respecto a la recuperación total de la inversión.

a. Dependencia en la Inversión.
   Dado un conjunto de n proyectos de inversión, el monto total de la erogación podrá depender en ciertos casos del subconjunto o combinación de proyectos seleccionados. Esto implica la presencia de economías de escala para ciertas combinaciones de proyectos del conjunto.

b. Dependencia en la Recuperación
   El beneficio o recuperación total de la inversión puede depender de la combinación de proyectos seleccionados y por tanto el rendimiento total de los proyectos aceptados no será igual, necesariamente, a la suma de los rendimientos individuales de cada proyecto.

Finalmente, para los diversos tipos de dependencia económica, el problema de selección óptima de inversiones puede plantearse dentro de un marco determinístico, considerando fijos los valores de los parámetros del problema,

o bien, en forma quizá más realista, considerando la naturaleza estocástica del problema. En este último caso, desde luego que los modelos de optimización asociados al problema de selección, serán más complejos que en el caso determinista.

2. *Dependencia Tecnológica.*

Este tipo de dependencia se deriva de las características intrínsecas de los proyectos o de los recursos (no económicos) necesarios para realizarlos. Se distinguen, entre otros, los siguientes tipos de dependencia tecnológica:

a. Proyectos Mutuamente Excluyentes.
Dentro del conjunto de proyectos podrá haber dos o más, de tal naturaleza que, para efectos de decisión, se deberá aceptar uno solo y rechazar los demás.

b. Proyectos Contingentes.
En este tipo de dependencia, la decisión de aceptar un proyecto determinado es contingente con la aceptación o rechazo de otro proyecto.

b.1 Contingencia Relativa
Si el primer proyecto se rechaza, el proyecto contingente debe rechazarse; pero si el primero se acepta, el proyecto contingente es atractivo para inversión y, por tanto, se podrá o no aceptar.

b.2 Contingencia absoluta
Si el proyecto se rechaza, su contingente debe rechazarse, y si el primero se acepta el segundo debe aceptarse automáticamente. Este caso podría manejarse analíticamente como un solo proyecto que englobe a los dos considerados anteriormente. Este caso se puede ejemplificar mediante el proyecto de construcción de un tramo de carretera, cuyo

proyecto contingente será la construcción de obras de arte como alcantarillas y puentes. Si la carretera se construye, el puente está obligado; por tanto se puede considerar un solo proyecto equivalente: carretera-puente.

c. Proyectos Obligados

Esta dependencia se refiere a un conjunto de proyectos para los cuales existe la especificación de que cuando menos uno de los del conjunto debe realizarse.

d. Proyectos Secuenciales

Esta dependencia se refiere al orden de prelación en el tiempo que deben guardar ciertos proyectos. Si se trata de una decisión de inversiones sobre un horizonte de tiempo de varios períodos, dos proyectos pueden ser dependientes en el sentido de que si uno se acepta en un determinado período, el contingente secuencial será atractivo para inversión, en el mismo período o en períodos subsecuentes al período de aceptación del primero. En este caso puede hablarse de dependencia secuencial absoluta y relativa, en los mismos términos expuestos en el tipo de dependencia de proyectos contingentes.

3.2 DEPENDENCIA EXOGENA O PRESUPUESTAL

Característicamente, este tipo se refiere a la dependencia que se genera entre un conjunto de proyectos cuando el monto total de la inversión no debe exceder un determinado presupuesto, generalmente fijado exógenamente al que toma decisiones.

En el caso de inversiones en el sector público, las diferentes dependencias del ejecutivo deberán seleccionar inversiones sujetas a un presupuesto fijado exógenamente por el organismo hacendario y de programación presupuestal,

A un nivel macroeconómico, el Gobierno Federal opera de acuerdo con un Presupuesto Federal de Egresos, que engloba a todas las dependencias y que incluye tanto el Gasto Corriente (de operación), como la Inversión de Capital. Este presupuesto se fija de acuerdo con el ingreso estimado para un ejercicio fiscal, congruente con la política impositiva vigente; con el monto estimado de crédito interno, derivado del ahorro del país; y con el monto prefijado de crédito externo, consecuencia de una determinada política de endeudamiento.

En el caso de la empresa privada, las restricciones presupuestales quedan fijas por las direcciones de finanzas, en función de los objetivos, metas y estrategias para el período considerado, y de la capacidad limitada de las diferentes fuentes de financiamiento, considerando la situación de mercados de capital imperfectos.

En todo caso, para este tipo de problemas, se acepta la capacidad de financiamiento como recurso escaso y se genera así el problema de selección de inversiones con racionamiento de capital. Los diferentes casos que se presentan bajo este tipo de dependencia se tratan a continuación.

1. Selección Estática.

En este tipo de problemas, la decisión de invertir en determinados proyectos se toma en un solo período (para el cual se conoce la restricción presupuestal), y los proyectos seleccionados se inician o implantan simultáneamente en dicho período.

Los tipos de modelos matemáticos desarrollados para hacer la selección óptima de inversiones requieren las siguientes distinciones:

a. Proyectos con un solo período de inversión.
   En este caso todos los proyectos considerados se pueden realizar o adquirir en el período considerado, esto es, desde el punto de vista de erogaciones, afectan financieramente solo al primer período.

b. Proyectos con varios períodos de inversión.
   Los proyectos asociados a este caso requieren para su implantación, inversión en dos o más períodos. Por tanto, su aceptación en el primer período afecta a la disponibilidad de fondos de inversión de períodos subsecuentes. En este caso es necesario disponer de una estimación de presupuestos disponibles para todos los períodos de inversión.

Las componentes esenciales o parámetros propios de estos problemas de inversión son las siguientes:

i. El conjunto de proyectos, i = 1, 2,...,n, sugeridos para inversión.
ii. La erogación total asociada con cada proyecto, y su distribución en el tiempo.
iii. El beneficio total correspondiente de cada proyecto.
iv. El horizonte de planeación y el número de períodos considerados para la inversión.
v. El valor de los presupuestos disponibles para cada período.

De acuerdo con lo anterior, los modelos matemáticos desarrollados para el caso de selección estática podrán plantearse dentro de un marco determinístico o estocástico. En el primero, tanto la erogación, beneficio y presupuestos se considerarán conocidos con certeza. En el marco estocástico existe incertidumbre sobre los valores de dichos parámetros, por lo cual habrá que considerarlos como variables aleatorias. Los modelos de optimización tendrán que determinar no solo la solución óptima, sino también una medida del riesgo asociado.

Finalmente, por lo que toca al tipo de proyectos, será necesario distinguir si, por su naturaleza, son o no divisibles. Esto es, si cada proyecto se debe

aceptar o rechazar en su totalidad (proyecto indivisible con erogación de tipo discreto); o bien si el proyecto puede aceptarse parcialmente con una erogación que varíe en forma continua. Como ejemplos del primer tipo se tienen las inversiones en piezas de maquinaria, construcción de presas, etc., las cuales deben aceptarse o rechazarse en su totalidad; las inversiones en investigación y desarrollo, o en publicidad, pueden considerarse como proyectos continuos, pudiendo aceptarse parcialmente su inversión.

2. *Selección Diferida*

Para este tipo de problemas de selección es posible diferir la inversión a períodos posteriores, dentro del horizonte de planeación. La solución del problema implica la determinación de: en qué proyectos invertir y cuándo invertir.

Los tipos de modelos de optimización desarrollados para la solución de estos problemas de inversión hacen la distinción entre proyectos que requieren para su realización uno o varios períodos de inversión. Asimismo, el problema podrá plantearse en un marco determinístico o bien como problema probabilístico.

Al igual que en la selección estática, es necesario distinguir si los proyectos son divisibles o indivisibles. En algunos problemas se podrán tener proyectos mixtos; algunos de inversión contínua y otros de inversión discreta.

3.3 DEPENDENCIA OPERACIONAL

Adicionalmente a los tipos de dependencia endógena y presupuestal, puede presentarse una dependencia caracterizada por aspectos meramente de tipo operacional de la empresa.

1. *Dependencia Estratégica.*

De la política de operación de la empresa se pueden derivar estrategias que generen la dependencia de proyectos, lo cual sin duda generará restricciones adicionales en el proceso de selección. Este sería el caso de la empresa que, por política empresarial, fijara la restricción de que cuando menos un número fijo de proyectos se aceptaran, de los propuestos por una determinada división operativa de la empresa, independientemente de que hubieran sido aceptados en un caso de total independencia. O bien, la estrategia que fijara un mínimo de capital a invertir en proyectos de investigación y desarrollo.

2. *Dependencia Legal.*

Este tipo de dependencia se presenta en empresas que por su naturaleza están sujetas a reglamentos operativos de carácter legal, como es el caso de las instituciones de crédito que están sujetas a la Ley Bancaria, asi como a las disposiciones que sobre Depósito Legal, emite el Banco de México.

Por ejemplo, en el caso de banca de depósito, las inversiones de activo fijo en proyectos de inmuebles están sujetas a una cota superior, determinada en función de su renglón de capital y reservas.

Otro caso se presenta en los problemas de selección de proyectos de cartera de crédito. En este caso, si los "proyectos" de inversión se identifican con los "cajones" de crédito, las restricciones regulatorias del Depósito Legal imponen restricciones a la selección de cartera, de tal suerte que, cuando menos una determinada cantidad de las disponibilidades, sea invertida en cajones previamente especificados.

3.4 OTROS TIPOS DE DEPENDENCIA

La estructuración propuesta de los problemas de selección de inversiones tiene un propósito de tipo académico, con el objeto de sistematizar su estudio y el análisis de los modelos de optimización correspondientes. En los casos prácticos, por lo general se presentarán problemas de selección de inversiones que involucren una combinación de tipos de dependencia, tanto endógena, presupuestal como operacional.

Este tipo de problemas podrán modelarse adecuadamente mediante la conjunción de las características de los modelos que presentan por separado cada tipo de dependencia. Desde luego los modelos de optimización serán más complejos y requerirán en la mayoría de los casos, de métodos de solución muchos más sofisticados.

3.5 PROYECTOS INDEPENDIENTES

Pueden presentarse problemas de selección de inversiones cuando los proyectos elegibles no presentan *ningún* tipo de dependencia. Un conjunto de proyectos será independiente presupuestalmente, si aceptamos que la empresa opera dentro de un mercado de capital perfecto; esto es, si la firma puede obtener o prestar *cualquier* cantidad de dinero con una determinada tasa de interés.

Por otra parte, un conjunto de proyectos se considerará independiente económicamente si la *erogación y recuperación* total de proyectos individuales no se ve afectada por la aceptación de otros proyectos. Por tanto, el beneficio total (costo total), de un conjunto de proyectos independientes, es igual a la suma de los beneficios (costos), de cada proyecto del conjunto, como si se llevara a cabo solo.

El problema de selección de proyectos independientes se resuelve entonces aceptando o rechazando cada uno de ellos individualmente, en función de su propio mérito.

El criterio de selección se limita a determinar el valor presente neto del flujo de ingresos y egresos y aceptarlo si este es mayor que cero o rechazarlo en caso contrario. En ocasiones se utiliza el criterio de la tasa interna de rendimiento del proyecto, comparándola con la tasa de interés que representa el costo del dinero para la empresa. Cuando este criterio es el que se emplea, es necesario distinguir entre proyectos de "inversión pura" y de "inversión mixta".

En los primeros, el valor futuro del proyecto en los años subsecuentes a la inversión es tal, que la empresa mantiene su posición de acreedora del proyecto. En los proyectos de inversión mixta, para ciertos períodos futuros el proyecto ya habrá generado un valor futuro positivo para la empresa.

IV. MODELO GENERAL DE SELECCION OPTIMA DE INVERSIONES.

La clasificación propuesta en la Fig. 2 permite el tratamiento de cada uno de los tipos de problemas de selección con modelos apropiados a la naturaleza de cada clase. En esta sección se propone un modelo general que ilustra la complejidad del proceso analítico de selección de inversiones en su caso más amplio, el cual se simplifica significativamente cuardo se refiere a una clase de problemas en particular.

El modelo de optimización se presenta en la Tabla 1. En esta, el vector $\underline{x}$ representa a las variables técnicas del conjunto de proyectos y el vector $\underline{y}$ a las variables de decisión binarias, asociadas con la aceptación o rechazo de cada uno de los proyectos.

La función objetivo (1) pide la maximización del beneficio global, esto es, la suma de los beneficios de los proyectos aceptados. Los beneficios de cada proyecto están representados por la función $f_i(\underline{x})$ que depende del valor que tomen las variables técnicas.

El conjunto de restricciones (2) - (5) representan los diferentes tipos de dependencia que pueden presentar los proyectos, las cuales pueden depender también de los valores que toman las variables técnicas.

En las restricciones (5), los parámetros a_{ij} representan la inversión de capital requerida por el proyecto i en el periodo j, y el parámetro P_j, el monto de inversión disponible en cada periodo.

Las variables técnicas por lo general quedan restringidas a tomar valores no-negativos y las variables de decisión podrán tomar el valor cero si el proyecto se rechaza o uno, si el proyecto se acepta.

Determinar $\underline{x}^*$, $\underline{y}^*$ para:

MAXIMIZAR $$Z = \sum_{1=i}^{n} f_i (x_1^i, x_2^i, \ldots, x_m^i)\ y_i \qquad (2)$$

SUJETO A LAS RESTRICCIONES:

TECNOLOGICAS $$g_k (x_1, x_2, \ldots, x_m^i) \leq \underline{b}_1 \quad ; k = 1, \ldots, r_1 - 1 \qquad (2)$$

ECONOMICAS $$g_k (x_1, x_2, \ldots, x_m^i) \leq \underline{b}_2 \quad ; k = r, \ldots, r_2 - 1 \qquad (3)$$

OPERACIONALES $$g_k (x_1, x_2, \ldots, x_m^i) \leq b_3 \quad ; k = r_2, \ldots, r_3 - 1 \qquad (4)$$

PRESUPUESTALES $$\sum_{1=1}^{n} a_{ij}\ y_i \leq P_j \quad ; \forall_j \qquad (5)$$

$$\underline{x}^i \geq 0 \ ; \ y_i = 0, 1 \quad ; \forall_i \qquad (6)$$

TABLA 1. MODELO GENERAL DE SELECCION OPTIMA DE INVERSIONES

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DETERMINACION DEL PRESUPUESTO OPTIMO DE INVERSION EN CONJUNTOS DE PROYECTOS

DR. FELIPE OCHOA ROSSO

Julio de 1977

DETERMINACION DEL PRESUPUESTO OPTIMO DE INVERSION EN CONJUNTOS DE PROYECTOS

por el
DR. FELIPE OCHOA*

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro del tipo genérico de problemas de selección de inversiones se presenta con frecuencia el problema siguiente:

Sea un sistema existente en expansión que requiere de nuevos proyectos de capital para satisfacer una demanda esperada o para atender problemas no resueltos con anterioridad.

El conjunto de proyectos identificados deben evaluarse en forma individual con el objeto de justificar inversión per se, es decir, que la corriente de ingresos esperada resulte superior a la correspondiente corriente de egresos. Ahora bien, dado el conjunto de proyectos aceptables desde el punto de vista individual, se presenta el dilema siguiente: Se deberá solicitar la inversión total, esto es, deberán recomendarse todos los proyectos, o bien, puesto que en general los recursos son limitados y no pueden realizarse todos, deberá escogerse solo un subconjunto de ellos y cuál debería ser éste?

En caso de que los recursos sean limitados, la disponibilidad presupuestal se fija por lo general en forma exógena por parte de la autoridad hacendaria, si se trata de una inversión pública, o del responsable de finanzas, si es una empresa privada, en función de las disponibilidades de capital y capacidad de endeudamiento que permita la estrategia financiera del país o la empresa.

De acuerdo con lo anterior, surge la necesidad de seleccionar un subconjunto de proyectos que, sin exceder el presupuesto de inversión disponible, proporcione

* Director General de FOA, S.C. Consultores

en conjunto, el beneficio total máximo posible.

Este problema genérico ha sido atacado en el pasado por medio del planteamiento de modelos simbólicos, matemáticos, del tipo denominado de programación lineal en variables que pueden tomar solo valores enteros.

Supongamos ahora que el grupo o comité responsable de identificar proyectos y evaluarlos, y a su vez recomendar un conjunto óptimo para inversión, desconoce el monto del presupuesto y solo tiene información sobre el rango que tendrá. Entonces uno de los problemas que debe resolver es el de establecer las combinaciones óptimas de proyectos para diferentes valores del presupuesto. En principio el problema podría resolverse con los métodos usuales, para varios valores de P, reiterando y resolviendo tantos problemas como valores de P.

Una manera muy eficiente implicaría que un solo proceso de solución permitiera obtener todas las soluciones óptimas para el rango de P. Un método con estas características paramétricas es por ejemplo el desarrollado en[1].

Dado que tenemos beneficios totales de subconjuntos de proyectos óptimos para cada rango de P, planteamos aqui la tésis que debe existir un presupuesto óptimo P* generado en forma endógena, que representa el P o total de inversión que genera la máxima efectividad de la inversión, medida por el beneficio total del conjunto de proyectos, por unidad de capital invertido.

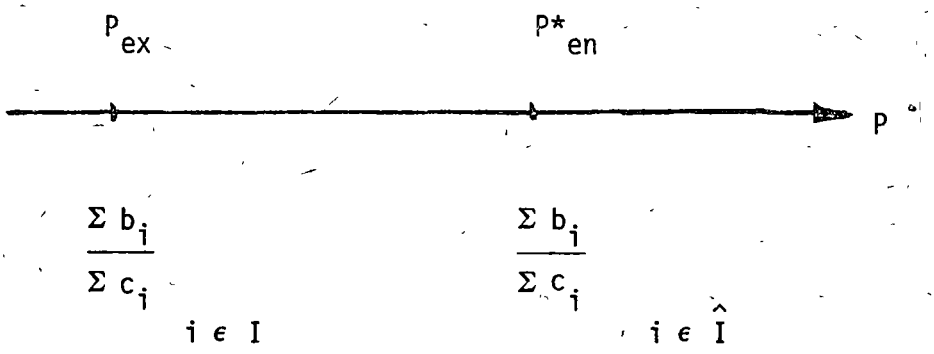
La tésis que sostenemos es que al contrario de como se hace actualmente: Presupuesto se fija exógenamente y sin discusión y de ahí se deriva el conjunto óptimo de proyectos. En realidad, debe procederse de la siguiente forma:

Paso 1.- Comité de selección determina el conjunto óptimo de proyectos que optimiza no solo la suma de beneficios, sino también la efectividad Σ Benef/ Inversión total. Conocido el presupuesto óptimo, este es el que deberá recomendarse al organismo financiero. Si este tiene razones válidas para insistir en el presupuesto exógeno, entonces deberá negociarse, indicando a

---

1 Ochoa, F., *Applications of Discrete Optimization Techniques to Capital Investment Problems*, Research Report R68-43, Instituto Tecnológico de Massachusetts, Departamento de Ingeniería Civil, Enero 1968.

finanzas el costo de oportunidad de que el presupuesto exógeno sea menor que el endógeno o viceversa.



I., conjunto óptimo de proyectos aceptados con el presupuesto fijado exógenamente

$\hat{I}$, conjunto óptimo de proyectos aceptados con el presupuesto fijado endógenamente

b_i, c_i, beneficio y costo respectivamente del proyecto i-ésimo.

$$\text{Costo de Oportunidad} = \frac{\Sigma\, b_i}{\Sigma\, c_i}_{i \in \hat{I}} - \frac{\Sigma\, b_i}{\Sigma\, c_i}_{i \in I}$$

El problema entonces es un doble problema de optimización que busca definir:

1. El subconjunto óptimo de proyectos a seleccionar que garantice el máximo beneficio total.

2. Y que corresponda al presupuesto o inversión que permita lograr la efectividad óptima (beneficio/costo total invertido de la totalidad de los proyectos aceptados).

II. FORMULACION DEL MODELO

El modelo propuesto se presenta en la Tabla 1. En este, la función objetivo (1) a maximizar es el beneficio total de los proyectos aceptados entre el monto de inversión total de los mismos y las únicas restricciones existentes se refieren a la naturaleza binaria de las variables de decisión (2).

El modelo asi desarrollado es de programación entera no-lineal con n variables, correspondientes al conjunto de proyectos potenciales para inversión.

A: Determinar los valores óptimos Z° y X° que permitan:

$$\text{Maximizar} \quad Z = \sum_{i=1}^{n} b_i x_i \; / \; \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \qquad (1)$$

Sujeto a las restricciones:

$$x_i = 0, 1 \quad ; \quad \forall i \qquad (2)$$

Donde:

b_i, beneficio que genera el proyecto i-ésimo

c_i, monto de la inversión asociada con el proyecto i-ésimo

x_i, variable de decisión asociada con el proyecto i-ésimo. Si $x_i = 0$ el proyecto se rechaza, si $x_i = 1$ el proyecto se acepta.

TABLA 1

III. METODO DE SOLUCION

Para resolver el problema propuesto podría recurrirse a un algoritmo de ramificación del tipo de Land y Doig[1], que implica resolver en cada nodo del árbol de soluciones un problema no lineal sin restricciones; o bien, aplicar el mecanismo de descomposición del problema, como se indica a continuación.

En lugar de resolver A, se propone la solución primero de un problema de selección óptima de inversiones con restricción presupuestal paramétrica y una vez obtenida ésta, la solución de un problema no lineal en una sola variable, el cual puede hacerse por simple inspección. O sea:

a) B: Obtener los valores óptimos $Z^{\circ}(P)$, $\underline{X}^{\circ}$ para $0 \leqslant P \leqslant \sum_{i=1}^{n} c_i$,

tal que se logre:

$$\text{Max } Z(P) = \sum_{i=1}^{n} b_i x_i \tag{3}$$

Sujeta a las restricciones

$$\sum_{i=1}^{n} c_i x_i \leqslant P \tag{4}$$

$$x_i = 0, 1 \quad \forall i \tag{5}$$

b) Generar la función $\hat{Z} = \dfrac{Z^{\circ}(P)}{P}$; $0 \leqslant P \leqslant \sum_{i=1}^{n} c_i$ (6)

O alternativamente generar la función $\tilde{Z} = \dfrac{Z^{\circ}(P)}{\sum_{i=1}^{n} c_i x_i^{\circ}(P)}$; $0 \leqslant P \leqslant \sum_{i=1}^{n} c_i$ (6')

c) Obtener P* óptimo que permita:

Maximizar $\hat{Z} = \dfrac{Z^{\circ}(P)}{P}$

$$0 \leqslant P \leqslant \sum_{i=1}^{n} c_i$$

---

1 Land, A.H., y A. Doig, *An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems*, Econometrica, Vol. 28, 1960, págs. 497-520.

IV. ALGORITMO DE SOLUCION

El algoritmo propuesto para los pasos indicados anteriormente es como sigue:

Paso 1.- Resolver el problema B con el algoritmo paramétrico de ramificación y acotamiento [ ], obteniendo $Z^{\circ}(P)$ y $\underline{X}^{\circ}$.

Paso 2.- $Z^{\circ}(P)$ es una función discontinua creciente. Sean $P_1, P_2, \ldots, P_r$ los valores de P en los puntos de discontinuidad; obtener $Z^{\circ}(P_j) \; / \; P_j \; ; \; j = 1, \ldots, r$, valores de la función $\frac{Z^{\circ}(P)}{P}$ en los puntos de discontinuidad. Formar una tabla con dichos valores.

Paso 3.- Hacer una búsqueda en la tabla anterior y seleccionar el punto de discontinuidad que genere el valor máximo; sea este P_5 . El valor P_5 es por tanto el P^* óptimo buscado.

En forma gráfica, la solución del problema B proporciona una función $Z^{\circ}(P)$ como se indica en la Fig. 1. A su vez, la función $\frac{Z^{\circ}(P)}{P}$ tiene la forma indicada en la Fig. 2.

De acuerdo con la Fig. 2, el valor $P_5 = P^*$ es el valor óptimo y por lo tanto este debe ser el presupuesto endógeno que habrá de recomendarse para inversión, si se desea la mayor efectividad del conjunto de proyectos aceptados.

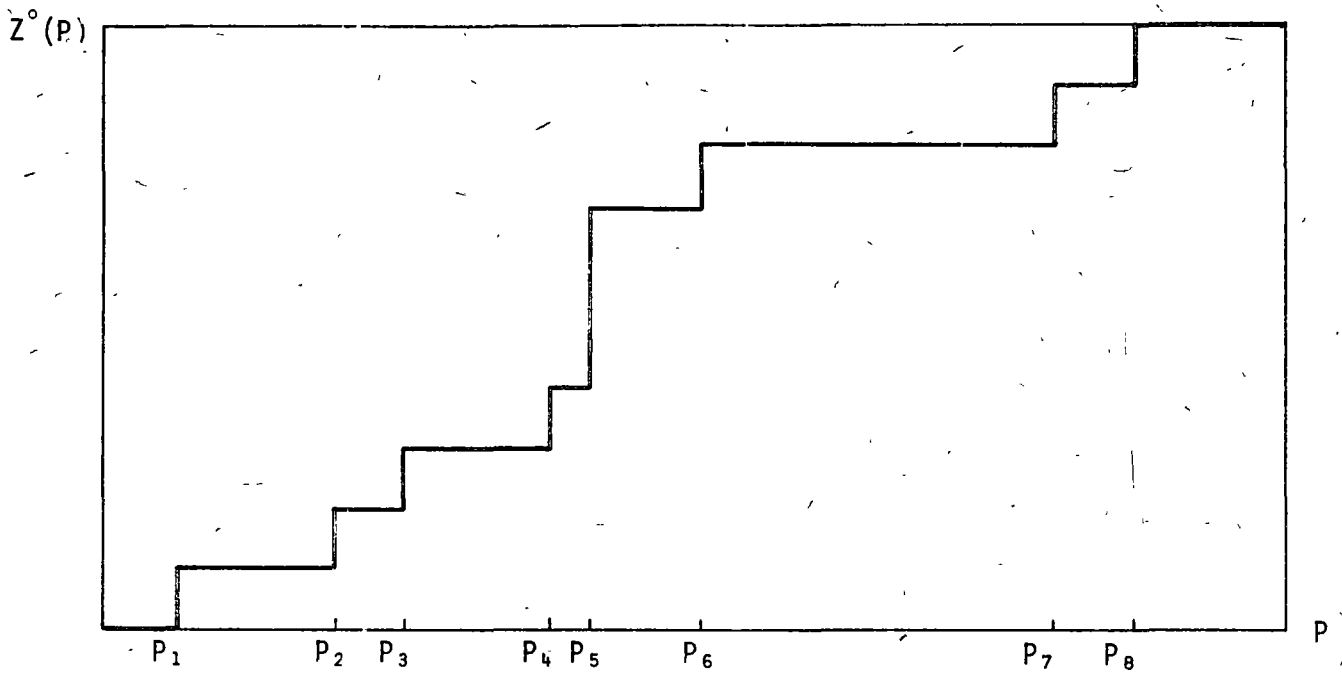


FIG. 1

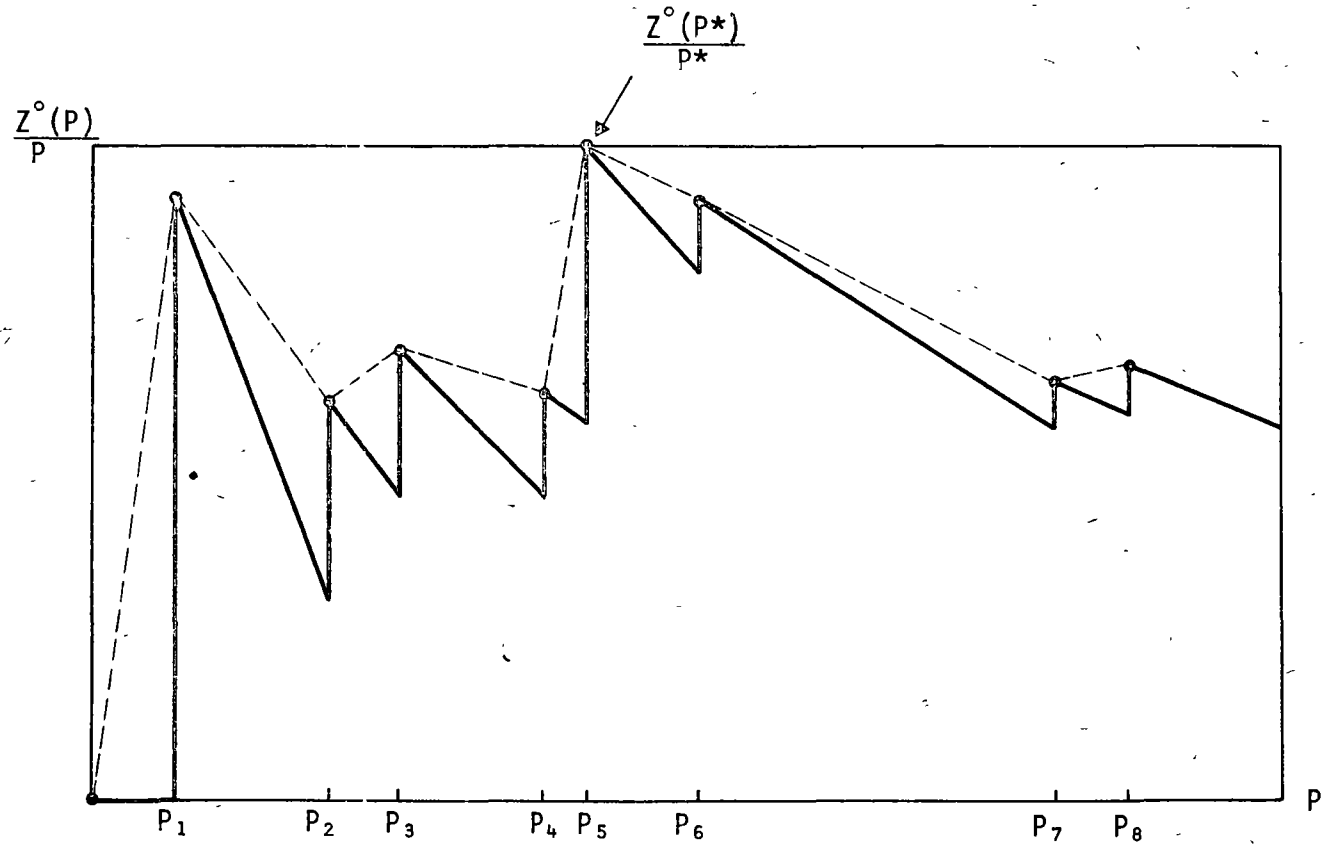
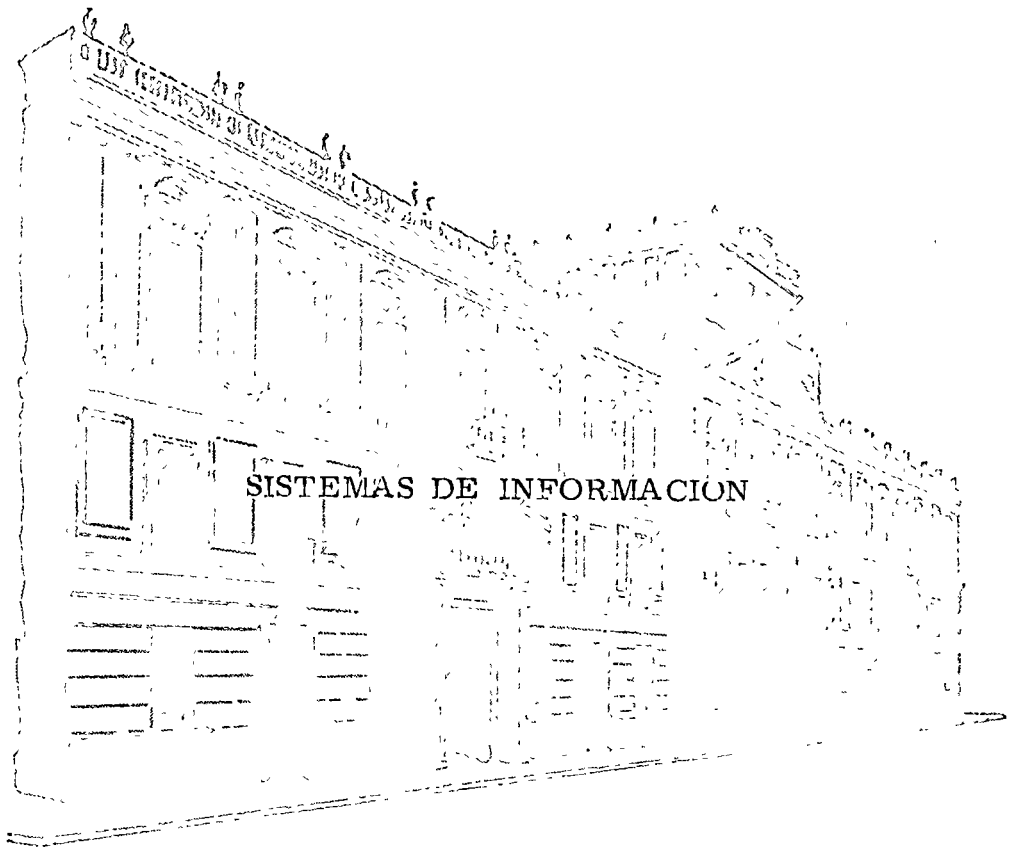


FIG. 2

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS



SISTEMAS DE INFORMACION

M. EN I. SERGIO ZUÑIGA BARRERA

JULIO DE 1977.

SISTEMAS DE INFORMACION

FUNDAMENTOS DEL ANALISIS Y DISENO DE SISTEMAS DE INFORMACION

P O R

SERGIO ZUNIGA BARRERA

NO SE PUEDE PENSAR EN UN SISTEMA DE INFORMACION, SI ESTE NO ESTA ASOCIADO AL FUNCIONAMIENTO DE UN ORGANO ADMINISTRATIVO, POR SIMPLE QUE ESTE SEA.

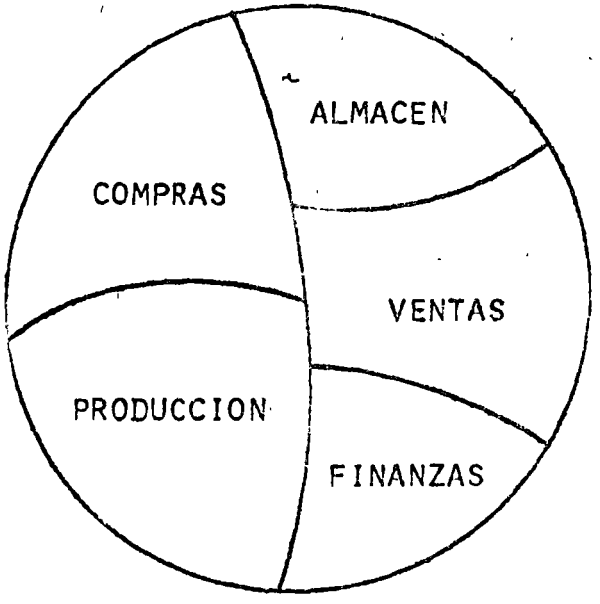
TODO ORGANO ADMINISTRATIVO CONSTITUYE EN SI UN SISTEMA.

CARACTERISTICAS QUE DEFINEN UN SISTEMA

- ES POSIBLE DIVIDIRLO EN PARTES
- CADA UNA DE LAS PARTES TIENEN OBJETIVOS ESPECIFICOS QUE CUMPLIR
- LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS DE LAS PARTES COADYUVAN A ALCANZAR EL OBJETIVO DEL SISTEMA
- LAS PARTES INTERACTUAN ENTRE SI

E J E M P L O

SUPONGASE UNA EMPRESA (SISTEMA), LA QUE ES FACTIBLE DIVIDIRLA EN DEPARTAMENTOS (PARTES DEL SISTEMA) TAL Y COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 1.



EMPRESA O ORGANO ADMINISTRATIVO (SISTEMA)

FIGURA 1.

CADA UNA DE LAS PARTES DE LA EMPRESA TIENEN OBJETIVOS - ESPECIFICOS QUE CUMPLIR, QUE COADYUVAN A ALCANZAR EL OBJETIVO - DE LA EMPRESA.

LA ACCION DE CADA UNO DE ESTOS DEPARTAMENTOS (PARTES - DEL SISTEMA) PROPICIA UNA INTERACCION CON LOS OTROS DEPARTAMENTOS DE LA EMPRESA (SISTEMA).

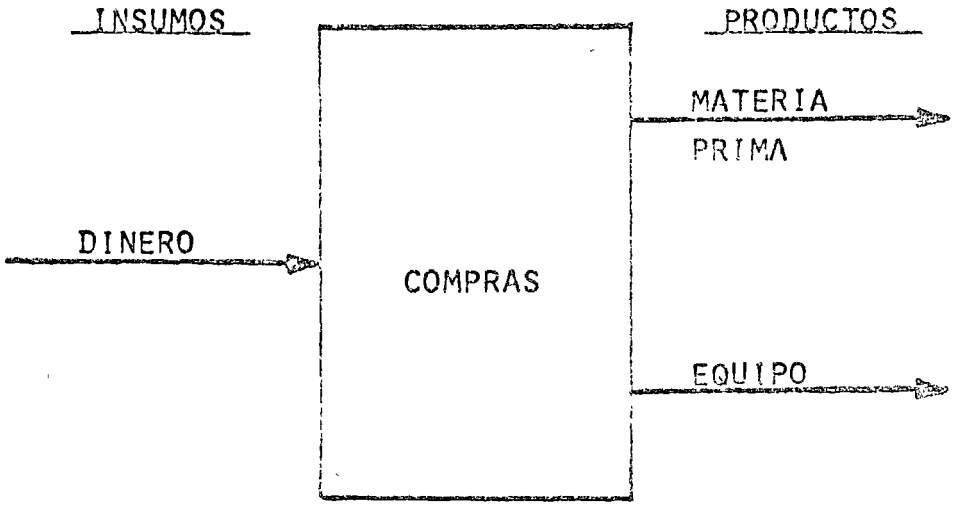
UNA DE LAS CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES DEL ESTUDIO DE SISTEMAS, ES EL ANALISIS DE LA INTERACCION DE LAS PARTES.

LA PLANEACION DEL DESARROLLO DE CADA UNA DE LAS PARTES, DE TAL FORMA QUE ALCANCEN SUS OBJETIVOS, NO SE PUEDE REALIZAR - EN FORMA INDEPENDIENTE, PUES AUNQUE FUERA OPTIMA, NO SE ESTA PLANEANDO EL DESARROLLO DE LA EMPRESA COMO UN TODO (ENFOQUE SISTEMICO).

"SE ESTAN OLVIDANDO LAS INTERACCIONES"

SE DICE QUE UN SISTEMA DE CONCEPTUALIZA, CUANDO SE HAN IDENTIFICADO LAS PARTES EN QUE SE DIVIDE Y SE SENALAN LAS IN-- TERACCIONES ENTRE ELLAS, ESTO A TRAVES DE INSUMOS - PRODUCTOS.

SE ACOSTUMBRA REPRESENTAR LAS PARTES DEL SISTEMA A TRA VES DE LO QUE SE CONOCE COMO CAJA NEGRA.



CAJA NEGRA DEL SUBSISTEMA COMPRAS

FIGURA 2 .

LA INTERACCION ARMONICA DE ESTAS CAJAS NEGRAS CONFORMA EL SISTEMA, PARA SU ANALISIS

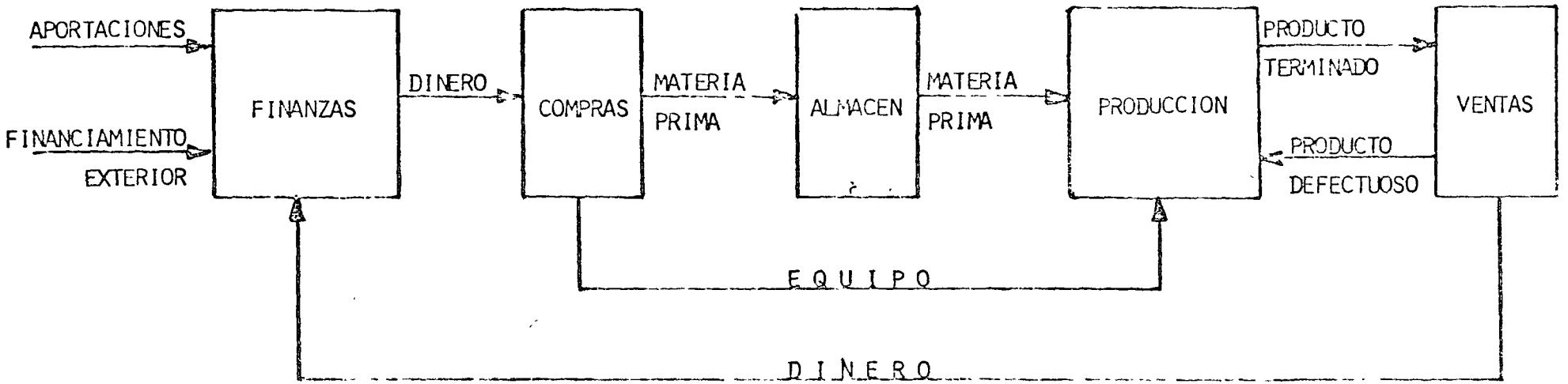
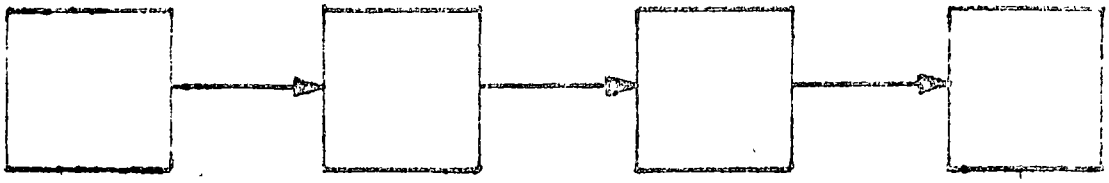
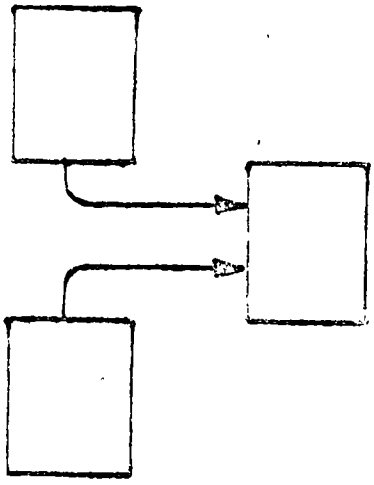


FIGURA 3.

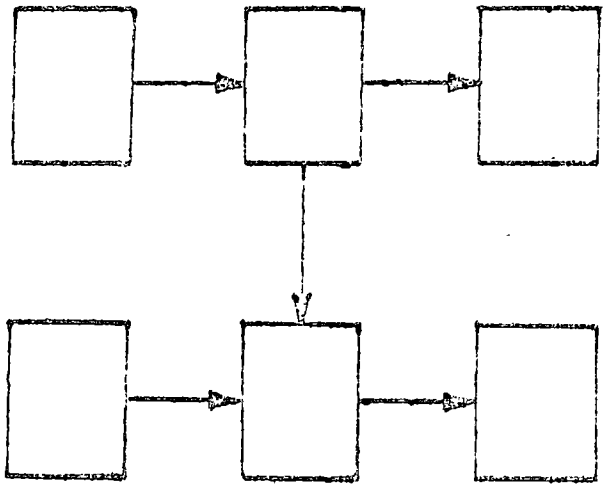
LA INTERACCION DE LOS SUBSISTEMAS PUEDE SER EN LINEA, PARALELO, O MIXTAS.



EN LINEA



EN PARALELO



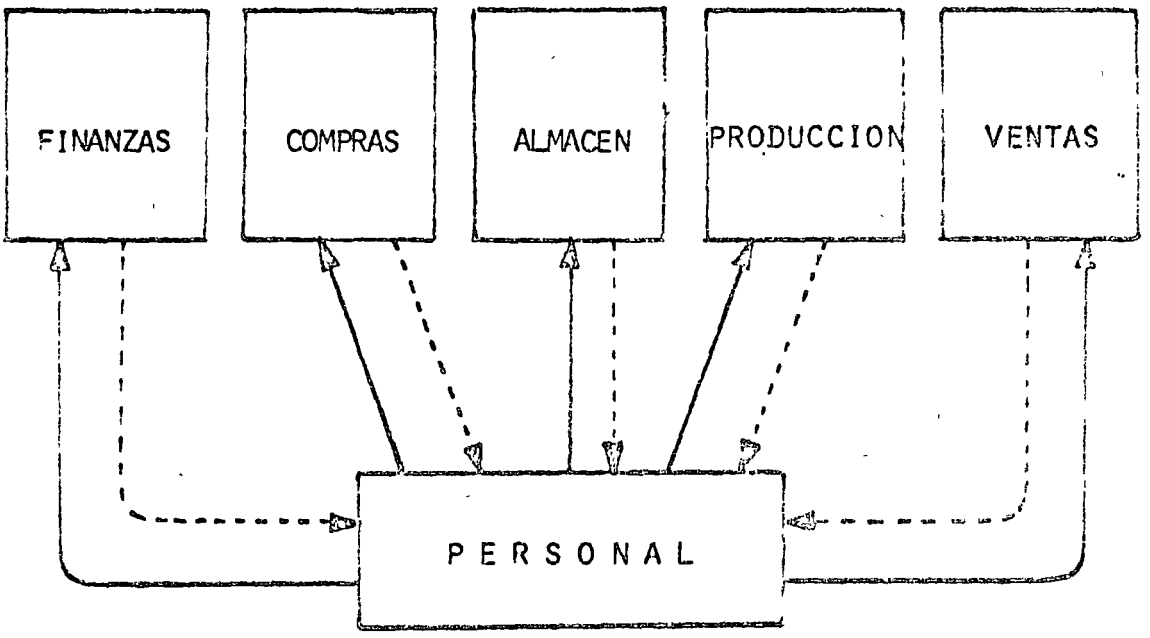
M I X T O

F I G U R A 4 .

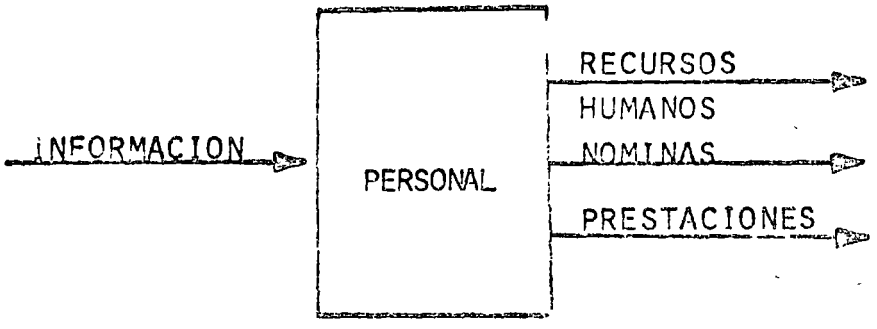
LAS INTERACCIONES ENTRE LOS SUBSISTEMAS DEFINEN UN PROBLEMA DE INFORMACION Y DESDE LUEGO QUE AFECTAN LA ESTRUCTURA - DEL ORGANO ADMINISTRATIVO.

VEAMOS PRIMERO LOS CASOS DE ESTRUCTURAS ORGANIZATIVAS.

OTRAS PARTES DE LA EMPRESA NO CONSIDERADAS EN EL EJEMPLO ANTERIOR, SON POR EJEMPLO LAS ADMINISTRATIVAS, DE ENTRE - LAS QUE SE PUEDE MENCIONAR EL DEPARTAMENTO DE PERSONAL, EL QUE TIENE INTERACCION CON TODOS LOS DEMAS DEPARTAMENTOS.



F I.G U R A 5 .



F I G U R A 6 .

AL PLANEAR LA ESTRUCTURA ADMINISTRATIVA QUE SE PRETENDE DAR A UN ORGANISMO, ES FRECUENTE PREGUNTAR

¿LA FUNCION ADMINISTRATIVA DEBE ESTAR CONCENTRADA O - DESCONCENTRADA?

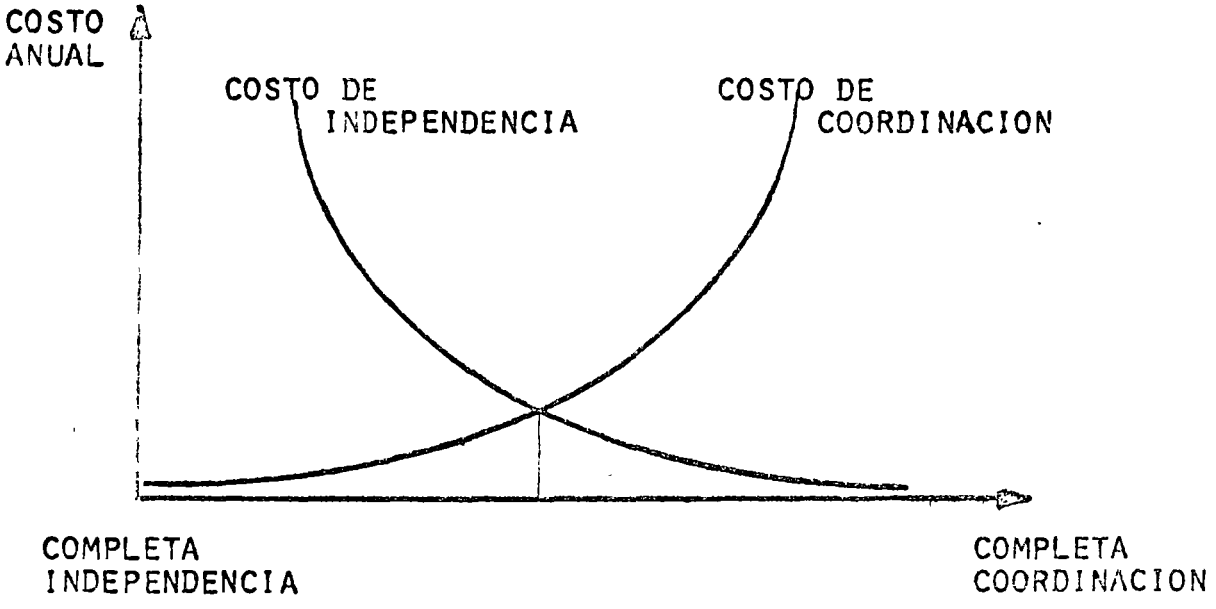
POR EJEMPLO, EN EL CASO DEL DEPARTAMENTO DE PERSONAL

¿DEBE EXISTIR UN DEPARTAMENTO DE PERSONAL QUE DE SERVICIO A TODOS LOS DEMAS?

¿O CADA DEPARTAMENTO (FINANZAS, COMPRAS, ALMACEN, PRODUCCION Y VENTAS) DEBE SER AUTOSUFICIENTE EN CONSE -- GUIR SUS PROPIOS RECURSOS HUMANOS, PROCESAR Y PAGAR - SUS NOMINAS?

PREGUNTAS DIFICILES DE CONTESTAR, SI NO SE HA HECHO UN ANALISIS PROFUNDO DEL TIPO DE ORGANO ADMINISTRATIVO QUE SE DESEA DISENAR. SIN EMBARGO SE PUEDE DECIR EN TERMINOS GENERALES QUE:

ENTRE MAS SE CONCENTRE UNA ACTIVIDAD QUE TIENE FUERTES INTERACCIONES CON OTRAS, MAS SE REQUERIRA DE UNA BUENA COORDINACION Y ESTO SOLO SE LOGRA A TRAVES DE EXCELENTES CANALES DE INFORMACION.



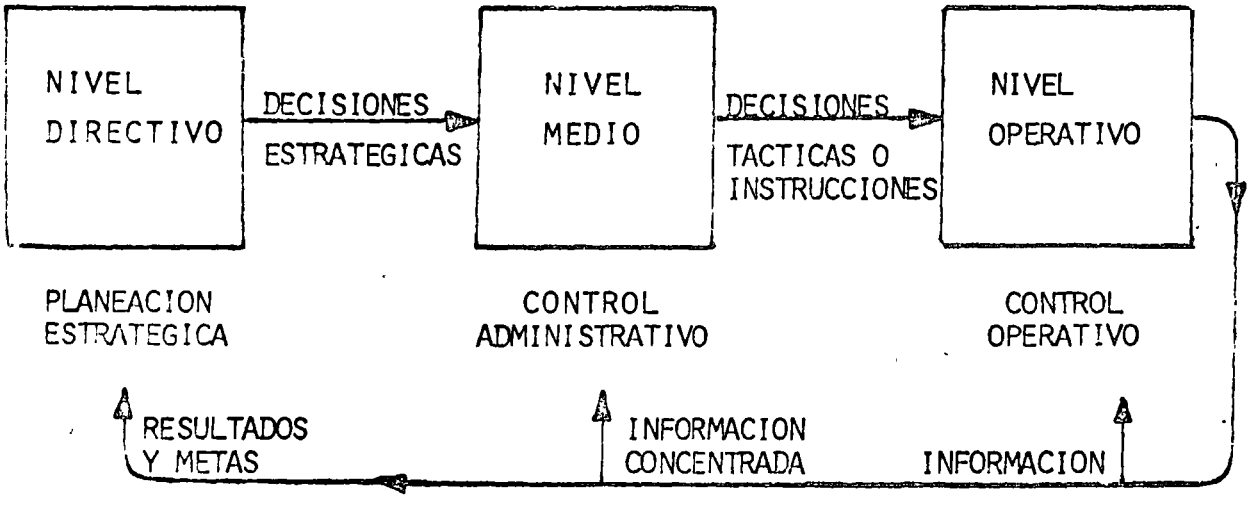
COSTO DE COORDINACION E INDEPENDENCIA

F I G U R A 7 .

SE PUEDE AFIRMAR QUE UN SISTEMA DE INFORMACION ES EL MECANISMO QUE PERMITE QUE LAS ESTRUCTURAS ADMINISTRATIVAS SE PUEDAN DESCONCENTRAR O NO.

EL SISTEMA DE INFORMACION DENTRO DE UN ORGANISMO DESEMPEÑA UNA FUNCION ANALOGA A LA DE UN SISTEMA NERVIOSO, PUESTO QUE DEBE DESARROLLAR ACCIONES TALES COMO: CAPTAR, CLASIFICAR, TRANSMITIR, ALMACENAR, RECUPERAR Y PRESENTAR INFORMACION.

SU OBJETIVO FUNDAMENTAL DEBE CONSISTIR EN PROPORCIONAR INFORMACION OPORTUNA Y RELEVANTE PARA LA TOMA DE DECISIONES.



F I G U R A 8.

LOS SISTEMAS DE INFORMACION PARA SU ESTUDIO SE PUEDEN CLASIFICAR DE DIVERSAS MANERAS

A) POR EL NIVEL AL QUE SIRVE

EL SISTEMA DE INFORMACION PUEDE SER

i) PARA PLANEACION ESTRATEGICA
ii) PARA CONTROL ADMINISTRATIVO
iii) PARA CONTROL OPERATIVO
iv) INTEGRAL

B) POR SUS CANALES DE COMUNICACION

LOGICO ES QUE SI UN SISTEMA DE INFORMACION SIRVE A UN ORGANO ADMINISTRATIVO, DEBE ESTAR INTIMAMENTE LIGADO A LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE DICHO ORGANO Y DE ENTRE SUS CANALES SE DEBEN CONTAR LOS JERARQUICOS DE ESAS ESTRUCTURAS.

POR EL TIPO DE CANAL, LOS SISTEMAS DE INFORMACION SE DIVIDEN EN:

i) FORMALES
ii) INFORMALES

C) POR LA FORMA EN QUE SE RECUPERA LA INFORMACION

i) SISTEMAS DE SALIDAS PROGRAMADAS

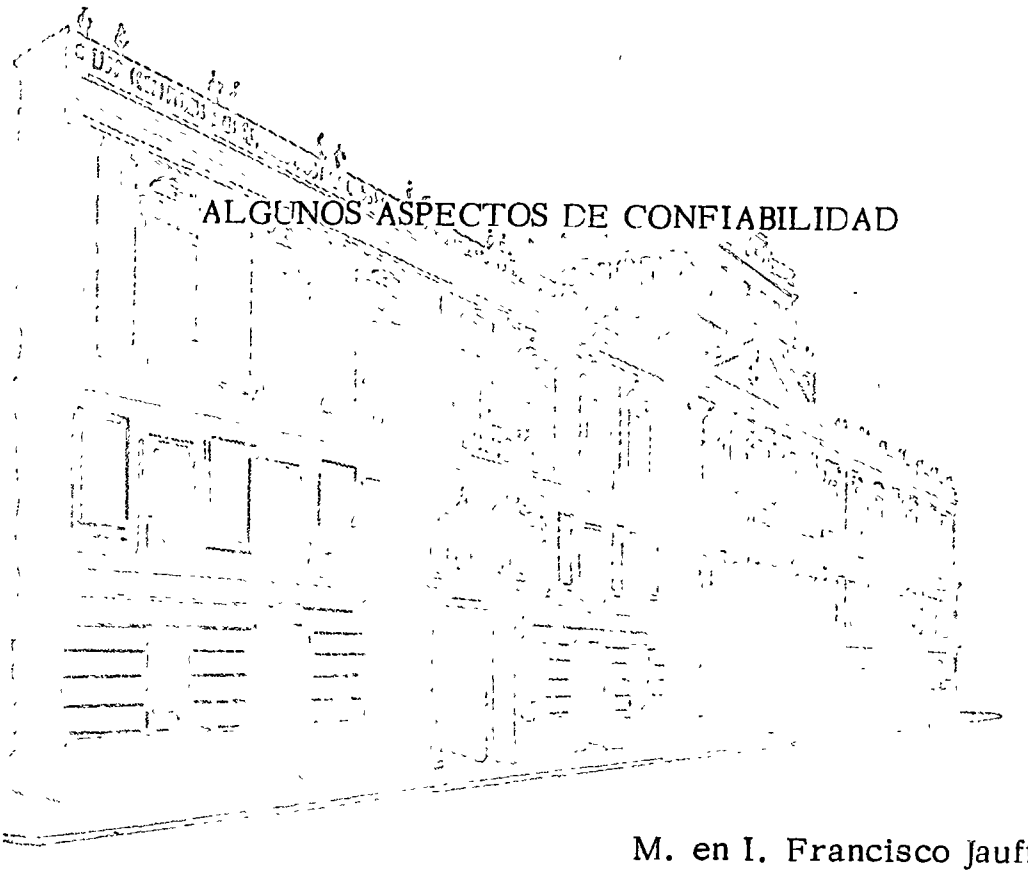
ii) SISTEMAS DE SALIDAS NO PROGRAMADAS

LA OPERACION DE TODO SISTEMA DE INFORMACION SE DIVIDE - BASICAMENTE EN TRES PARTES, MISMAS QUE HAY QUE TENER EN CONSIDERACION EN EL DISENO.

- CAPTURA DE INFORMACION
- ALMACEN DE INFORMACION
- RECUPERACION DE INFORMACION

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS



ALGUNOS ASPECTOS DE CONFIABILIDAD

M. en I. Francisco Jauffred M.

Junio-Agosto, 1977.

ALGUNOS ASPECTOS DE CONFIABILIDAD*

por

F. J. Jauffred**

2.4. Aplicación al estudio de la confiabilidad de un sistema discreto de Bernoulli.

2.4.1. Introducción

Un sistema discreto opera intermitentemente; sea n el número de veces que ha operado $n = 1,2,\ldots$; cada vez que opera puede presentarse una falla; se llama confiabilidad del sistema para n operaciones, $R(n)$, a la probabilidad de que en las n operaciones no ocurra la falla. En otras palabras, la confiabilidad $R(n)$ es la probabilidad de que la falla se presente después de n operaciones.

Ahora bién, a la probabilidad $F(n)$ de que la falla ocurra en cualquiera de las primeras n veces que opere, se le llama

---

* Orientados a Sistemas Administrativos Discretos.

** Profesor de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.

riesgo de falla del sistema, o riesgo en la operación del sistema ("desconfiabilidad"). Es evidente que

$$R(n) + F(n) = 1$$

De donde se desprende la relación entre riesgo y confiabilidad

$$\boxed{R(n) = 1 - F(n)} \qquad n = 0, 1, 2, \ldots$$

El riesgo de que falle un sistema antes de que empiece a operar es nulo, esto es

$$F(0) = 0$$

de ahí que la confiabilidad de un sistema antes de su operación es el 100%

$$R(0) = 1$$

Conforme aumenta el número de veces que opera el riesgo de que ocurra una falla crece de manera que

$$F(n) \longrightarrow 100\%$$

$$n \longrightarrow \infty$$

por consiguiente

$$R(n) \longrightarrow 0$$

$$\text{si } n \longrightarrow \infty$$

Desde un punto de vista probabilístico F(n) es una distribución acumulada y R(n) es la distribución acumulada comple-

mentaria. Sea f(n) la distribución de probabilidad cuya acumulada es F(n) y por consiguiente su acumulada complementaria es R(n). Es claro que f(n) es la probabilidad de que la falla ocurra en la n-ésima operación del sistema.

La esperanza del número de veces que operará el sistema sin que se presente la falla (NMOSF) es por tanto

$$\boxed{NMOSF = \sum_{n=0}^{\infty} n\, f(n)}$$

(NMOSF = número medio de operaciones sin falla).

Es interesante señalar que puesto que F(n) es la acumulada de f(n), la relación que existe entre ellas es

$$f(n) = F(n) - F(n-1)$$

por consiguiente

$$f(n) = 1 - R(n) - \left[1 - R(n-1)\right]$$

$$\boxed{f(n) = R(n-1) - R(n)} \qquad n = 1, 2, \ldots$$

Es conveniente tener un indicador de que tan lento o tan rápido varía la confiabilidad de un sistema de operación en operación. Con este objeto se define la tasa de falla r(n)

$$\boxed{r(n) = \frac{R(n-1) - R(n)}{R(n)}} \qquad n = 1, 2, \ldots$$

o en términos del riesgo de falla

$$r(n) = \frac{f(n)}{1 - F(n)} \qquad n = 1,2,\ldots$$

Empíricamente se ha visto que en la vida de un sistema existen de hecho tres edades (fig.2.19) el infantilismo o período de implantación (zona (A)), la edad madura o estabilización del sistema (zona (B)), y el período de vejez o decadencia del sistema (zona (C)).

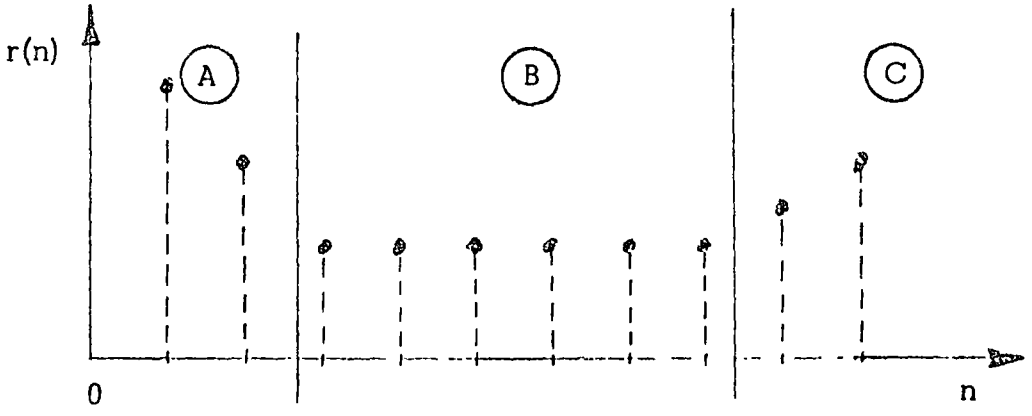


Figura 2.19

En el primero la tasa de falla disminuye rápidamente, en el segundo permanece prácticamente constante y en el tercero la tasa crece conforme aumenta el número de veces que se pone a operar el sistema. Interesa muy particularmente analizar el período en que el sistema se ha estabilizado, de ahí que la tasa de falla constante sea especialmente importante.

2.4.2. Sistema discreto de Bernoulli con una sola componente

Se dice que un sistema discreto es de Bernoulli si:

i) El que falle o no en una operación es independiente del que falle o no en cualquier otra operación.

ii) La probabilidad p de falla en una operación individual es igual para todas y cada una de ellas.

En estas condiciones, la probabilidad f(n) de que el sistema falle (por primera y única vez) en la n-ésima ocasión que se le ponga a operar es

$$f(n) = Pr\{X(1) = 0, \ldots, X(n-1) = 0, X(n) = 1\} = p\, q^{n-1}, \quad n = 1, 2, \ldots$$

de donde

$$X(m) = \begin{cases} 0 \text{ si no falla el sistema al operarlo la m-ésima vez} \\ 1 \text{ si no falla el sistema al operarlo la m-ésima vez} \end{cases}$$

$$m = 1, \ldots, n$$

pero si

$$\boxed{f(n) = p\, q^{n-1}} \qquad n = 1, 2, \ldots$$

se trata de la distribución geométrica, cuya acumulada es $(1 - q^n)$ y la acumulada complementaria es q^n, Luego para un sistema discreto de Bernoulli

$$\boxed{\begin{aligned} F(n) &= 1 - q^n \\ R(n) &= q^n \end{aligned}} \qquad n = 0, 1, 2, \ldots$$

$$NMOSF = \sum_{n=0}^{\infty} n\, p\, q^{n-1}$$

$$NMOSF = \frac{p}{(1-q)^2} = \frac{1}{p}$$

Por otra parte

$$r(n) = \frac{R(n-1) - R(n)}{R(n)} = \frac{q^{n-1} - q^n}{q^n} = \frac{q^n \left(\frac{1}{q} - 1\right)}{q^n}$$

$$r(n) = \frac{1-q}{q} = \frac{p}{q}$$

En resumen:

$$NMOSF = \frac{1}{p}$$

$$r(n) = \frac{p}{q}$$

y los sistemas discretos de Bernoulli tienen tasa de falla constante e igual al cociente de la probabilidad individual de falla entre la también individual de supervivencia.

2.4.3. Estructura de orden m

Cuando un sistema tiene m componentes, la confiabilidad total depende tanto de la confiabilidad de cada una de las componentes del sistema como de las relaciones funcionales entre dichas componentes. Si en un sistema con m componentes el que una de ellas opere o deje de operar es independiente del resto, se dice que el sistema es una estructura de orden m.

Es conveniente representar gráficamente (fig. 2.20) el compor

tamiento funcional de un sistema, para ello se hace uso de una red en la que los nudos (nodos) son las componentes del sistema y los arcos dirigidos representan las relaciones funcionales entre dichas componentes. En la figura 2.21 se representa una estructura de orden cinco.

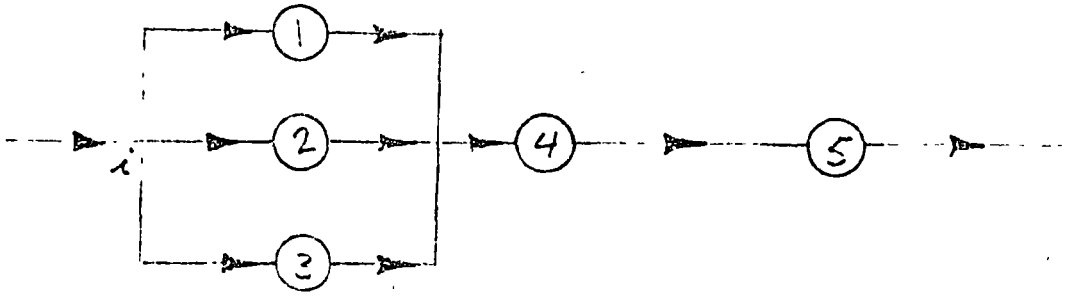


Fig. 2.20

Si alguno de los nudos falla cuando se opera por n-ésima vez al sistema, esto puede ocasionar o no la falla de todo el sistema, así una falla del nudo (4) origina una falla total sin embargo una falla del nudo (2) no origina dicha falla. Así, supóngase en la figura antes mencionada se está representando un trámite administrativo, si se ausenta el empleado (4) o el (5), los que constituyen verdaderos cuellos de botella, se suspende el flujo de documentos, falla el sistema; mientras que si falta el empleado (1) o el (2) o el (3) se sobrecarga el trabajo a los restantes empleados pero el sistema administrativo sigue funcionando. Los empleados (1) (2) y (3) constituyen un caso de redun-

dancia activa.

En una estructura de orden m existen 2^m combinaciones de los nudos, algunas de estas combinaciones permiten que el sistema opere por n-ésima vez, otras por el contrario lo impiden. A las primeras se les llama rutas mientras que las segundas reciben el nombre de cortes. Al número de nudos que operan tanto en una ruta como en un corte se le llama tamaño, ya sea de la ruta o del corte.

Para el ejemplo de la figura 2.20 se tiene para la n-ésima operación

Nudos que operan	Tamaño	Tipo de combinación
ninguno	cero	corte
1	uno	"
2	"	"
3	"	"
4	"	"
5	"	"
1,2	dos	"
1,3	"	"
1,4	"	"
1,5	"	"
2,3	"	"
2,4	"	"
2,5	"	"
3,4	"	"
3,5	"	"
4,5	"	"
1,2,3	tres	"
1,2,4	"	"
1,2,5	"	"
1,3,4	"	"
1,3,5	"	"
1,4,5	"	Ruta

Nudos que operan	Tamaño	Tipo de combinación
2,3,4	tres	corte
2,3,5	"	"
2,4,5	"	ruta
3,4,5	"	"
1,2,3,4	cuatro	corte
1,2,3,5	"	"
1,2,4,5	"	ruta
1,3,4,5	"	"
2,3,4,5	"	"
1,2,3,4,5	cinco	"

Una forma más condensada de representar el estado del sistema en su n-ésima operación, consiste en considerar vectores binarios de m elementos, la posición del elemento indica el nudo en cuestión, es un cero si el componente falló antes o en la n-ésima operación; por otra parte es un uno si el componente sobrevivió la n-ésima operación. Así, (1,0,0,1,0) indica que los componentes (1) y (4) sobrevivieron mientras que los (2), (3) y (5) no sobrevivieron esta operación.

tamaño	rutas	cortes
cero	ninguna	(0,0,0,0,0)
uno	ninguna	(1,0,0,0,0), (0,1,0,0,0) (0,0,1,0,0), (0,0,0,1,0) (0,0,0,0,1)
dos	ninguna	(1,1,0,0,0), (1,0,1,0,0) (1,0,0,1,0), (1,0,0,0,1) (0,1,1,0,0), (0,1,0,1,0) (0,1,0,0,1), (0,0,1,1,0) (0,0,1,0,1), (0,0,0,1,1)

tres	(1,0,0,1,1) (0,1,0,1,1) (0,0,1,1,1)	(1,1,1,0,0), (1,1,0,1,0) (1,1,0,0,1), (1,0,1,1,0) (1,0,1,0,1), (0,1,1,1,0) (0,1,1,0,1)
cuatro	(1,1,0,1,1) (1,0,1,1,1) (0,1,1,1,1)	(1,1,1,1,0), (1,1,1,0,1)
cinco	(1,1,1,1,1)	ninguno

En particular las rutas de tamaño tres son simples esto es, permiten llevar un flujo de un nudo inicial i a uno terminal t tocando el menor número de nudos.

r . s. 1 = (1,0,0,1,1)

r. s. 2 = (0,1,0,1,1)

r. s. 3 = (0,0,1,1,1)

El uso de la adición binaria (unión)

+	0	1
0	0	1
1	1	1

permite el cálculo de las rutas múltiples, basta sumar rutas simples binariamente para obtener las faltantes. En efecto:

rutas	1	2	3	4	5	
1	1	0	0	1	1	rutas simples tamaño 3
2	0	1	0	1	1	
3	0	0	1	1	1	
1+2	1	1	0	1	1	rutas múltiples tamaño 4
1+3	1	0	1	1	1	
2+3	0	1	1	1	1	
1+2+3	1	1	1	1	1	ruta múltiple tamaño 5

Por otra parte en muchos sistemas, como es el caso del ejemplo, <u>las rutas simples se obtienen por mera inspección</u>.

Considérense ahora las variables aleatorias $X_1(n)$, $X_2(n)$, $X_3(n)$, $X_4(n)$, $X_5(n)$ cada una de ellas asociada al correspondiente nudo de manera que

$$X_i(n) = \begin{cases} 1 \text{ si el nudo } i \text{ sobrevive a la n-ésima operación} \\ 0 \text{ en caso contrario.} \end{cases} \qquad i = 1,\ldots,5$$

estas variables $X_i(n)$, $i = 1,\ldots,5$, son las <u>variables de estado</u> para la estructura del ejemplo. Agrupadas constituyen el <u>vector de estado</u> $\overline{X}(n)$ que también es aleatorio.

$$\overline{X}(n) = \left[X_1(n), X_2(n), X_3(n), X_4(n), X_5(n)\right]$$

$$\overline{X}(n) = \begin{cases} 1 \text{ si la estructura sobrevive la n-ésima operación} \\ 0 \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

Por otra parte, la probabilidad de que la estructura sobreviva

la n-ésima operaciónes es

$$\Pr\left\{\overline{X}(n)=1\right\} = \left[\sum_{j=1}^{3} \Pr\left\{X_1(n)+X_2(n)+X_3(n)\right] = j\right\} \Pr\left\{X_4(n)=1\right\} \Pr\left\{X_5(n)=1\right\}$$

$$\begin{aligned}\Pr\left\{\overline{X}(n)=1\right\} = \Pr\Big\{ & \left[X_1(n)=1, X_2(n)=0, X_3(n)=0\right] \Pr\left\{X_4(n)=1\right\} \Pr\left\{X_5(n)=1\right\} + \\ & + \Pr\left\{X_1(n)=0, X_2(n)=1, X_3(n)=0\right\} \Pr\left\{X_4(n)=1\right\} \Pr\left\{X_5(n)=1\right\} + \\ & + \Pr\left\{X_1(n)=0, X_2(n)=0, X_3(n)=1\right\} \Pr\left\{X_4(n)=1\right\} \Pr\left\{X_5(n)=1\right\} + \\ & + \Pr\left\{X_1(n)=1, X_2(n)=1, X_3(n)=0\right\} \Pr\left\{X_4(n)=1\right\} \Pr\left\{X_5(n)=1\right\} + \\ & + \Pr\left\{X_1(n)=1, X_2(n)=0, X_3(n)=1\right\} \Pr\left\{X_4(n)=1\right\} \Pr\left\{X_5(n)=1\right\} + \\ & + \Pr\left\{X_1(n)=0, X_2(n)=1, X_3(n)=1\right\} \Pr\left\{X_4(n)=1\right\} \Pr\left\{X_5(n)=1\right\} + \\ & + \Pr\left\{X_1(n)=1, X_2(n)=1, X_3(n)=1\right\} \Pr\left\{X_4(n)=1\right\} \Pr\left\{X_5(n)=1\right\} +\end{aligned}$$

Al tener presente la independencia entre nudos ya que se trata de una estructura:

$$\begin{aligned}\Pr\left\{\overline{X}(n)=1\right\} = \Big[& \Pr\left\{X_1(n)=1\right\} \Pr\left\{X_2(n)=0\right\} \Pr\left\{X_3(n)=0\right\} + \Pr\left\{X_1(n)=0\right\} \\ & \Pr\left\{X_2(n)=1\right\} \Pr\left\{X_3(n)=0\right\} + \\ & + \Pr\left\{X_1(n)=0\right\} \Pr\left\{X_2(n)=0\right\} \Pr\left\{X_3(n)=1\right\} + \Pr\left\{X_1(n)=1\right\} \Pr\left\{X_2(n)=1\right\} \Pr\left\{X_3(n)=0\right\} + \\ & + \Pr\left\{X_1(n)=1\right\} \Pr\left\{X_2(n)=0\right\} \Pr\left\{X_3(n)=1\right\} + \Pr\left\{X_1(n)=0\right\} \Pr\left\{X_2(n)=1\right\} \Pr\left\{X_3(n)=1\right\} + \\ & + \Pr\left\{X_1(n)=1\right\} \Pr\left\{X_2(n)=1\right\} \Pr\left\{X_3(n)=1\right\}\Big] \Pr\left\{X_4(n)=1\right\} \Pr\left\{X_5(n)=1\right\}\end{aligned}$$

pero

$$\Pr\left\{X_i(n)=1\right\} + \Pr\left\{X_i(n)=0\right\} = 1 \quad , \; i=1,\ldots,5$$

luego

$$\Pr\left\{X_i(n)=0\right\} = 1 - \Pr\left\{X_i(n)=1\right\}$$

De manera que:

$$\Pr\left\{\overline{X}(n)=1\right\} = \Big[\Pr\left\{X_1(n)=1\right\} \left(1-\Pr\left\{X_2(n)=1\right\}\right)\left(1-\Pr\left\{X_3(n)=1\right\}\right) +$$

$$+(1-Pr\{X_1(n)=1\})Pr\{X_2(n)=1\}(1-Pr\{X_3(n)=1\}) +$$

$$+(1-Pr\{X_1(n)=1\})(1-Pr\{X_2(n)=1\})Pr\{X_3(n)=1\} +$$

$$+(Pr\{X_1(n)=1\}Pr\{X_2(n)=1\}(1-Pr\{X_3(n)=1\}) +$$

$$+Pr\{X_1(n)=1\}(1-Pr\{X_2(n)=1\}Pr\{X_3(n)=1\} +$$

$$+(1-Pr\{X_1(n)=1)Pr\{X_2(n)=1\}Pr\{X_3(n)=1\} +$$

$$+Pr\{X_1(n)=1\}Pr\{X_2(n)=1\}Pr\{X_3(n)=1\}]Pr\{X_4(n)=1\}Pr\{X_5(n)=1\}$$

De la expresión anterior se puede extraer una función $\phi(\overline{X}(n))$ con la siguiente forma:

$$\phi(\overline{X}(n))=[X_1(n)(1-X_2(n))(1-X_3(n)+(1-X_1(n))X_2(n)(1-X_3(n)+(1-X_1(n))$$
$$(1-X_2(n))X_3(n))+X_1(n)X_2(n)(1-X_3(n))+X_1(n)(1-X_2(n))X_3(n)+(1-X_1(n))X_2(n)X_3(n)+$$
$$+X_1(n)X_2(n)X_3(n)]X_4(n)X_5(n)$$

Al suprimir el paréntesis rectangular se obtiene:

$$\phi(\overline{X}(n)) = X_1(n)(1-X_2(n))(1-X_3(n)X_4(n)X_5(n)+(1-X_1(n))X_2(n)(1-X_3(n))X_4(n)X_5(n)+$$
$$+(1-X_1(n)(1-X_2(n)X_3(n)X_4(n)X_5(n)+X_1(n)X_2(n)(1-X_3(n)X_4(n)X_5(n)+$$
$$+X_1(n)(1-X_2(n))X_3(n)X_4(n)X_5(n)+X_1(n)X_2(n)(1-X_3(n))X_4(n)X_5(n)+$$
$$+X_1(n)X_2(n)X_3(n)X_4(n)X_5(n)$$

A $\phi(\overline{X}(n))$ se le llama <u>función de estructura</u>.

Es posible llegar a la función de estructura de una manera más simple:

1) Identificar todas las rutas de la estructura bajo análisis.

2) Poner todas y cada una de las rutas en forma vectorial binaria $(j_1, j_2, j_3, j_4, j_5)$

3) Formar funciones de ruta $\varphi(\bar{X}(n))$

$$\varphi(\bar{X}(n)) = \prod_{i=1}^{5} \alpha_i$$

en donde

$$\alpha_i = \begin{cases} X_i(n) & \text{si } j_i = 1 \\ 1 - X_i(n) & \text{si } j_i = 0 \end{cases} \qquad i = 1, \ldots, 5$$

4) Establecer la función de estructura $\phi(\bar{X}(n))$ sumando las funciones de ruta

$$\phi(\bar{X}(n)) = \sum_{l} \varphi_l(\bar{X}(n))$$

Para el ejemplo se tiene:

$(1,0,0,1,1)$ luego $\varphi_1(\bar{X}(n)) = X_1(n)(1-X_2(n))(1-X_3(n))X_4(n)X_5(n)$

$(0,1,0,1,1)$ luego $\varphi_2(\bar{X}(n)) = (1-X_1(n))X_2(n)(1-X_3(n))X_4(n)X_5(n)$

$(0,0,1,1,1)$ luego $\varphi_3(\bar{X}(n)) = (1-X_1(n))(1-X_2(n))X_3(n)X_4(n)X_5(n)$

$(1,1,0,1,1)$ luego $\varphi_4(\bar{X}(n)) = X_1(n)X_2(n)(1-X_3(n))\ X_4(n)X_5(n)$

$(1,0,1,1,1)$ luego $\varphi_5(\bar{X}(n)) = X_1(n)(1-X_2(n))X_3(n)X_4(n)X_5(n)$

$(0,1,1,1,1)$ luego $\varphi_6(\bar{X}(n)) = (1-X_1(n))\ X_2(n)X_3(n)X_4(n)X_5(n)$

$(1,1,1,1,1)$ luego $\varphi_7(\bar{X}(n)) = X_1(n)X_2(n)X_3(n)X_4(n)X_5(n)$

$$\phi(\bar{X}(n)) = \sum_{l=1}^{7} \varphi_l(\bar{X}(n))$$

Es claro que si se conoce la función de estructura $\phi(\bar{X}(n))$ es inmediata la probabilidad de que la estructura sobreviva

la n-ésima operación.

Por otra parte

$$\Pr\left\{\overline{X}(n) = 1\right\} = R(n)$$

$$\Pr\left\{X_i(n) = 1\right\} = R_i(n) \qquad i = 1,\ldots,5$$

en donde $R(n)$ es la confiabilidad de la estructura y $R_i(n)$ es la confiabilidad del nudo i.

De manera que de regreso a la expresión para $P\left\{\overline{X}(n) = 1\right\}$ se logra:

$$\begin{aligned}R(n) = {} & R_1(n)(1-R_2(n))(1-R_3(n))R_4(n)R_5(n) + (1-R_1(n)R_2(n)(1-R_3(n))R_4(n)R_5(n) + \\ & + (1-R_1(n))(1-R_2(n))R_3(n)R_4(n)R_5(n) + R_1(n)R_2(n)(1-R_3(n))R_4(n)R_5(n) + \\ & + R_1(n)(1-R_2(n))R_3(n)R_4(n)R_5(n) + (1-R_1(n))R_2(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n) + \\ & + R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n).\end{aligned}$$

que es la confiabilidad de la estructura.

Puede observarse que a esta expresión se llega simplemente sustituyendo $R_i(n)$ en vez de $X_i(n)$ en la función de estructura $(1 = 1,\ldots,5)$.

Al suprimir paréntesis y hacer operaciones se obtiene:

$$R(n) = \left[R_1(n)R_4(n)R_5(n) + R_2(n)R_4(n)R_5(n) + R_3(n)R_4(n)R_5(n)\right] -$$
$$- \left[R_1(n)R_2(n)R_4(n)R_5(n) + R_1(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n) + R_2(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n)\right]$$
$$+ \left[R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n)\right]$$

En resumen para obtener la confiabilidad de una estructura se deben dar los siguientes pasos:

1. Identificar y poner en forma vectorial todas las rutas de la estructura.

2. Formar las funciones de ruta.

3. Formar la función de estructura sumando las funciones de ruta.

4. Sustituir $X_i(n)$ por $R_i(n)$ y $\phi(X(n))$ por $R(n)$ en la función de estructura.

5. Hacer operaciones para lograr una expresión condensada.

Por otra parte, una vez conocida la confiabilidad $R(n)$ interesa conocer los componentes respecto a los cuales la estructura es más sensible.

Para ello basta calcular:

$$\frac{\partial R(n)}{\partial R_i(n)} \qquad i = 1, \ldots, 5$$

esto es:

$$S_1(n) = \frac{\partial R(n)}{\partial R_1(n)} = R_4(n)R_5(n) - R_2(n)R_4(n)R_5(n) - R_3(n)R_4(n)R_5(n) + \\ + R_2(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n)$$

$$S_2(n) = \frac{\partial R(n)}{\partial R_2(n)} = R_4(n)R_5(n) - R_1(n)R_4(n)R_5(n) - R_3(n)R_4(n)R_5(n) + \\ + R_1(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n)$$

$$S_3(n) = \frac{\partial R(n)}{\partial R_3(n)} = R_4(n)R_5(n) - R_1(n)R_4(n)R_5(n) - R_2(n)R_4(n)R_5(n) + \\ + R_1(n)R_2(n)R_4(n)R_5(n)$$

$$S_4(n) = \frac{\partial R(n)}{\partial R_4(n)} = R_1(n)R_5(n) + R_2(n)R_5(n) + R_3(n)R_5(n) - R_1(n)R_2(n)R_5(n) - \\ - R_1(n)R_3(n)R_5(n) - R_2(n)R_3(n)R_5(n) + R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_5(n)$$

$$S_5(n) = \frac{\partial R(n)}{\partial R_5(n)} = R_1(n)R_4(n) + R_2(n)R_4(n) + R_3(n)R_4(n) - R_1(n)R_2(n)R_4(n) - \\ - R_1(n)R_3(n)R_4(n) - R_2(n)R_3(n)R_4(n) + R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_4(n).$$

supóngase que para un valor fijo n_0 de n, se han encontrado las siguientes confiabilidades

$$R_1(n_0) = 0.82$$

$$R_2(n_0) = 0.93$$

$$R_3(n_0) = 0.87$$

$$R_4(n_0) = 0.94$$

$$R_5(n_0) = 0.90$$

$$R(n_0) = \left[(0.82)(0.94)(0.90) + (0.93)(0.94)(0.90) + (0.87)(0.94)(0.90)\right] \\ - \left[(0.82)(0.93)(0.94)(0.90) + (0.82)(0.87)(0.94)(0.90) + \right. \\ \left. + (0.93)(0.87)(0.94)(0.90)\right] \\ + \left[(0.82)(0.93)(0.87)(0.94)(0.90)\right]$$

$$= \left[0.694+0.787+0.736\right] - \left[0.645+0.604+0.684\right] + \left[0.561\right]$$

$R(n_0) = 0.845$

por otra parte

$$S_1(n_0) = \left[(0.94)(0.90)\right] - \left[(0.93)(0.94)(0.90) + (0.87)(0.94)(0.90)\right] +$$
$$+ \left[(0.93)(0.87)(0.94)(0.90)\right]$$
$$= \left[0.846\right] - \left[0.787+0.736\right] + \left[0.684\right] = 0.007$$

$$S_2(n_0) = \left[(0.94)(0.90)\right] - \left[(0.82)(0.94)(0.90) + (0.87)(0.94)(0.90)\right] +$$
$$+ \left[(0.82)(0.87)(0.94)(0.90)\right]$$
$$= \left[0.846\right] - \left[0.694+0.736\right] + \left[0.603\right] = 0.019$$

$$S_3(n_0) = \left[(0.94)(0.90)\right] - \left[(0.82)(0.94)(0.90)+(0.93)(0.94)(0.90)\right] +$$
$$+ \left[(0.82)(0.93)(0.94)(0.90)\right]$$
$$= \left[0.846\right] - \left[0.694+0.787\right] + \left[0.645\right] = 0.010$$

$$S_4(n_0) = \left[(0.82)(0.90)+(0.93)(0.90)+(0.87)(0.90)\right] - \left[(0.82)(0.93)(0.90)+\right.$$
$$\left.+(0.82)(0.87)(0.90)+(0.93)(0.87)(0.90)\right] + \left[(0.82)(0.93)(0.87)(0.90)\right]$$
$$= \left[0.738+0.837+0.783\right] - \left[0.686+0.642+0.728\right] +$$
$$+ \left[0.597\right] = 0.899$$

$$S_5(n_0) = \left[(0.82)(0.94) + (0.93)(0.94) + (0.87)(0.94)\right] -$$
$$- \left[(0.82)(0.93)(0.94)+(0.82)(0.87)(0.94)+(0.93)(0.87)(0.94)\right] +$$
$$+ \left[(0.82)(0.93)(0.87)(0.94)\right]$$
$$= \left[0.771+0.874+0.818\right] - \left[0.717+0.671+0.761\right] +$$
$$+ \left[0.624\right] = 0.938$$

En resumen

$$S_1(n_0) = 0.007$$

$$S_2(n_0) = 0.019$$

$$S_3(n_0) = 0.010$$

$$S_4(n_0) = 0.899$$

$$S_5(n_0) = 0.938$$

Claramente se aprecia que la confiabilidad de la estructura es muy sensible respecto a los nudos (4) y (5) de manera que si se desea aumentar el nivel de confiabilidad que ahora es del 84.5% esto se logrará aumentando la confiabilidad de estos dos nudos y muy particularmente del 5 .

En efecto, supóngase que se logra que $R_5(n_0) = 0.95$, entonces:

$$R(n_0) = \left[(0.82)(0.94)(0.95) + (0.93)(0.94)(0.95)+(0.87)(0.94)(0.95)\right] -$$

$$- \left[(0.82)(0.93)(0.94)(0.95)+(0.82)(0.87)(0.94)(0.95)+\right.$$

$$\left.+(0.93)(0.87)(0.99)\ (0.95)\right] + \left[(0.82)(0.93)(0.87)(0.94)(0.95)\right]$$

$$R(n_0) = \left[0.732+0.830+0.777\right] - \left[0.681+0.637+0.723\right] +$$

$$+ \left[0.592\right] = 0.890$$

y la confiabilidad total subió del 84.5% al 89%.

Por otra parte supóngase que no se logra aumentar la confiabilidad del nudo (5) pero en cambio la del nudo (1) se sube de 0.82 a 0.95, entonces

$$R(n_0) = \left[(0.95)(0.94)(0.90) + (0.93)(0.94)(0.90) + (0.87)(0.94)(0.90)\right] -$$
$$- \left[(0.95)(0.93)(0.94)(0.90) + (0.95)(0.87)(0.94)(0.90) +\right.$$
$$\left. + (0.93)(0.87)(0.94)(0.90)\right] + \left[(0.95)(0.93)(0.87)(0.94)(0.90)\right]$$
$$R(n_0) = \left[0.804 + 0.787 + 0.736\right] - \left[0.747 + 0.699 + 0.684\right] +$$
$$+ \left[0.650\right] = 0.847$$

sólo se logró aumentar la confiabilidad del 84.5% al 84.7%.

En el desarrollo que se lleva hasta el momento no se ha tomado en cuenta el carácter de Bernoulli del sistema, supóngase ahora que las probabilidades de supervivencia en una operación cualquiera son q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 para los respectivos nudos la confiabilidad de la estructura resulta

$$R(n) = \left[q_1^n\, q_4^n\, q_5^n + q_2^n\, q_4^n\, q_5^n + q_3^n\, q_4^n\, q_5^n\right] - \left[q_1^n\, q_2^n\, q_4^n\, q_5^n +\right.$$
$$\left. + q_1^n\, q_3^n\, q_4^n\, q_5^n + q_2^n\, q_3^n\, q_4^n\, q_5^n\right] + \left[q_1^n\, q_2^n\, q_3^n\, q_4^n\, q_5^n\right]$$

$$\boxed{R(n) = \left[(q_1\, q_4\, q_5)^n + (q_2\, q_4\, q_5)^n + (q_3\, q_4\, q_5)^n\right] - \left[(q_1\, q_2\, q_4\, q_5)^n +\right.}$$
$$\boxed{\left. + (q_1\, q_3\, q_4\, q_5)^n + (q_2\, q_3\, q_4\, q_5)^n\right] + \left[(q_1\, q_2\, q_3\, q_4\, q_5)^n\right]}$$

y las diferentes sensibilidades son:

$$S_1(n) = (q_1\, q_5)^n - (q_2\, q_4\, q_5)^n - (q_3\, q_4\, q_5)^n + (q_2 q_3 q_4 q_5)^n$$

$$S_2(n) = (q_4 q_5)^n - (q_1 q_4 q_5)^n + (q_3 q_4 q_5)^n + (q_1 q_3 q_4 q_5)^n$$

$$S_3(n) = (q_4 q_5)^n - (q_1 q_4 q_5)^n + (q_2 q_4 q_5)^n + (q_1 q_2 q_4 q_5)^n$$

$$S_4(n) = \left[(q_1q_5)^n + (q_2q_5)^n + (q_3q_5)^n\right] - \left[(q_1q_2q_5)^n + (q_1q_3q_5)^n + (q_2q_3q_5)^n\right] + \left[(q_1q_2q_3q_5)^n\right]$$

$$S_5(n) = \left[(q_1q_4)^n + (q_2q_4)^n + (q_3q_4)^n\right] - \left[(q_1q_2q_4)^n + (q_1q_3q_4)^n + (q_2q_3q_4)^n\right] + \left[(q_1q_2q_3q_4)^n\right]$$

Algunas estructuras particulares merecen un estudio por separado

1) Estructura en serie

Se dice que una estructura de orden m se encuentra en serie, si consta de una sola ruta (fig.2.21) y esta es de tamaño m.

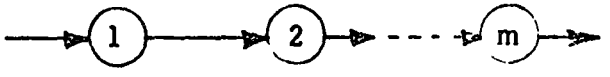


fig. 2.21

Si consta de una sola ruta y ésta es de tamaño . m necesariamente la función de estructura resulta:

$$\phi\ (\bar{X}(n)) = X_1(n)\ X_2(n)\ \cdots\ X_m(n)$$

$$\phi\ (\bar{X}(n)) = \prod_{i=1}^{m} X_i(n)$$

por lo que su confiabilidad es:

$$R(n) = \prod_{i=1}^{m} R_i(n)$$

y si el sistema es bernoulliano

$$R(n) = \prod_{i=1}^{m} q_i^n$$

ii) Estructura en paralelo

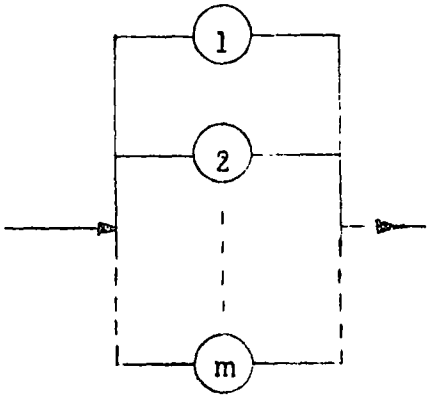


Fig. 2.22

Se dice que una estructura de orden m se encuentra en paralelo (fig. 2.22) si consta de m rutas de tamaño uno, $\binom{m}{2}$ de tamaño dos y en general $\binom{m}{l}$ rutas de tamaño l ($l = 1, 2, \ldots, m$); el total de rutas es (2^{m-1}).

La función de estructura es

$$\phi(\bar{X}(n)) = \coprod_{i=1}^{m} (1 - X_i(n))$$

de donde la confiabilidad R(n) es

$$R(n) = \coprod_{i=1}^{m} (1 - R_i(n))$$

y para el sistema bernoulliano

$$R(n) = \coprod_{i=1}^{m} (1 - q_i^n)$$

iii) Estructura (k, m)

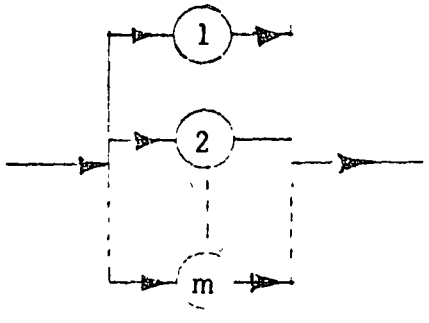


fig. 2.23

Cuando una estructura de orden m "en paralelo" (fig. 2.23) funciona con sólo k nudos de un total de m, pero no con menos de k nudos se dice que es una estructura (k, m).

Un caso particular sería el visto en (ii) que corresponde a una estructura (1,m) o el visto en (i) que corresponde a (m,m).

Precisando una estructura es (k,m) (k de m) si consta de $\binom{m}{l}$ rutas de tamaño l (l=k, k+1,...,m)

$$\sum_{l=k}^{m} \binom{m}{l}$$

por ejemplo, para una estructura (3,4) la función de estructura es

$$\phi(\bar{X}(n)) = \sum_{j=1}^{4} \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{4} X_i(n)\ (1-X_j(n)) + \prod_{i=1}^{4} X_i(n)$$

su confiabilidad R(n) resulta

$$R(n) = \sum_{j=1}^{4} \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{4} R_i(n)\ (1-R_j(n)) + \prod_{i=1}^{4} R_i(n)$$

y de ser bernoulliano

$$R(n) = \sum_{j=1}^{4} \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{4} q_i^n\ (1-q_j^n) + \prod_{i=1}^{4} q_i^n$$

Las dos primeras configuraciones, en serie y en paralelo permiten obtener confiabilidades de estructuras más complejas descomponiéndolas en estructuras simples; frecuentemente se le denomina método de la descomposición (fig. 2.24) de esta rutina.

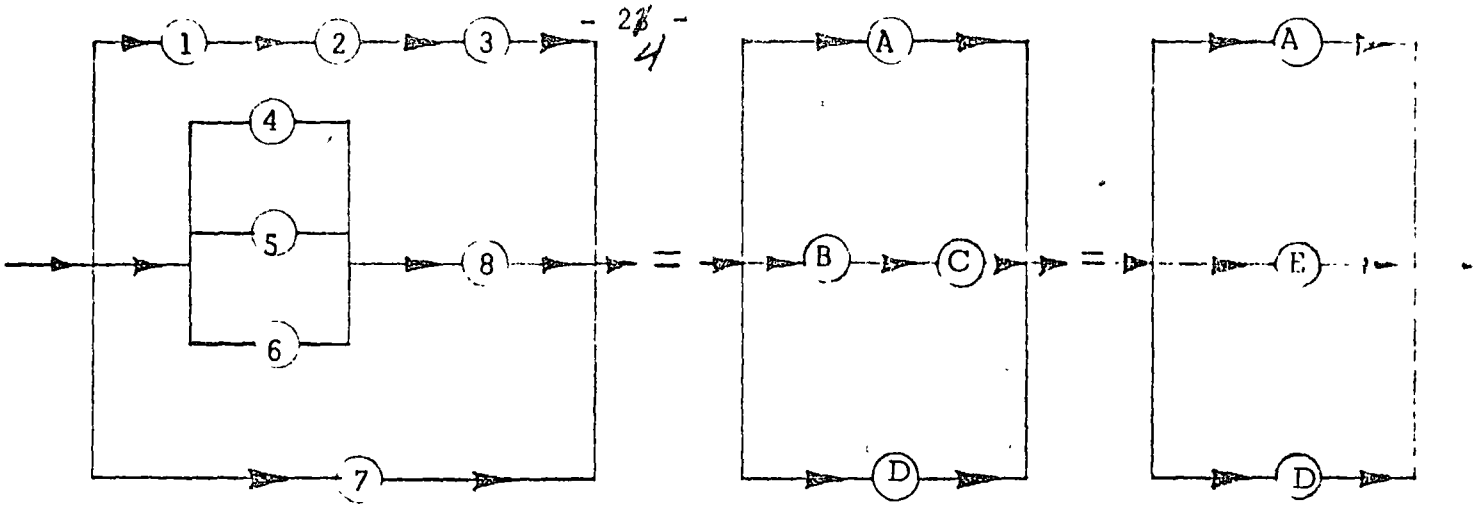
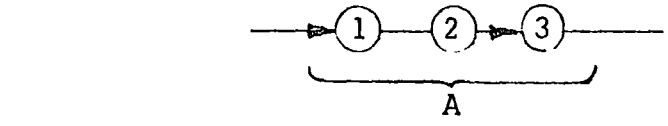
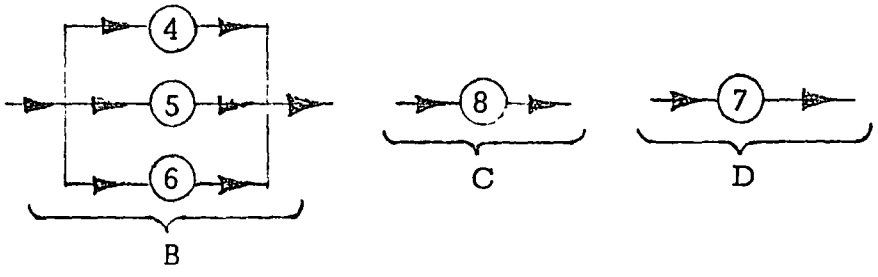


fig. 2.24

En donde





entonces

$$\phi\ (\overline{X}_A(n)) = \prod_{i=1}^{3} X_i(n)$$

$$\phi\ (\overline{X}_B(n)) = \left| - \prod_{i=4}^{6} (1-X_i(n)) \right.$$

$$\phi\ (\overline{X}_C(n)) = X_8(n)$$

$$\phi\ (\overline{X}_D(n)) = X_7(n)$$

$$\phi\ (\overline{X}_E(n)) = \left[1 - \prod_{i=4}^{6} (1-X_i(n)\right] X_8(n)$$

$$\phi\,(\overline{X}(n)) = 1 - (1-\phi\,(\overline{X}_A(n))\,(1-\phi\,(\overline{X}_E(n))\,(1-\phi(\overline{X}_D(n))$$

finalmente

$$\phi(\bar{X}(n)) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^{3} X_i(n)\right] \left[1 - \left(1 - \prod_{i=4}^{6} (1 - X_i(n)) X_8(n)\right)\right] \left[1 - X_7(n)\right]$$

con su confiabilidad

$$R(n) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^{3} R_i(n)\right] \left[1 - (1 - \prod_{i=4}^{6} (1 - R_i(n)) R_8(n)\right] \left[1 - R_7(n)\right]$$

y de ser bernoulliano

$$R(n) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^{3} q_i^n\right] \left[1 - (1 - \prod_{i=4}^{6} (1 - q_i^n)) q_8^n\right] \left[1 - q_7^n\right]$$

iv) Estructura paralelo-serie

Una estructura paralelo-serie (fig. 2.25) de orden (l, m) consiste de l sistemas idénticos y en serie y cada uno de ellos con m componentes en paralelo.

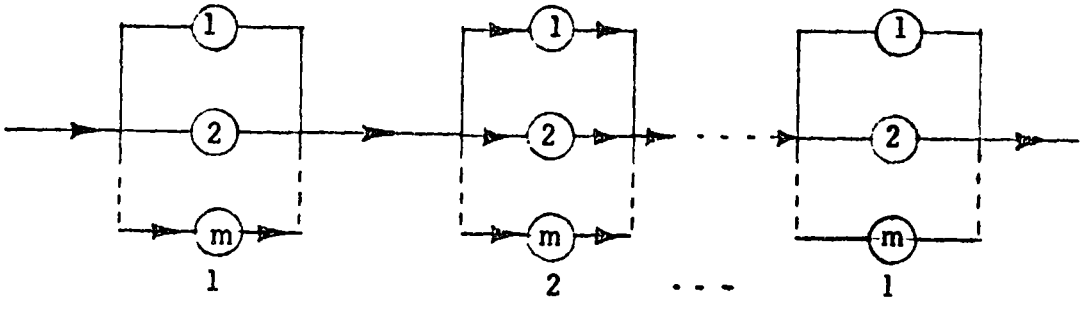


fig. 2.25

Su función de estructura es:

$$\phi(\bar{X}(n)) = \left(1 - \prod_{i=1}^{m} (1 - X_i(n))\right)^l$$

de manera que su confiabilidad resulta:

$$R(n) = \left(1 - \prod_{i=1}^{m} (1 - R_i(n))\right)^l$$

que en caso de ser bernoulliano se obtiene

$$R(n) = \left(1 - \prod_{i=1}^{m} (1 - q_i^n)\right)^l$$

v) Estructura serie-paralelo

Una estructura serie paralelo (fig. 2.26 de orden (l, m) consta de l sistemas en paralelo y cada uno con m componentes idénticas en serie.

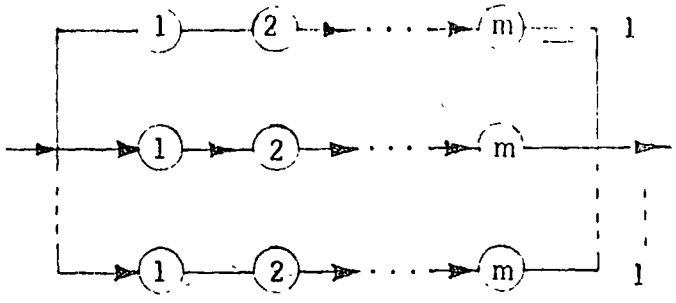


fig. 2.26

Su función de estructura es:

$$\phi(\bar{X}(n)) = 1 - (1 - \prod_{i=1}^{m} X_i(n))^l$$

por lo que su confiabilidad resulta:

$$R(n) = 1 - (1 - \prod_{i=1}^{m} R_i(n))^l$$

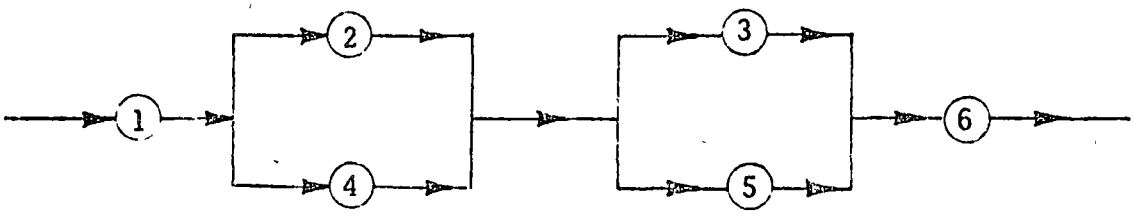
y en caso de bernoulliano

$$R(n) = 1 - (1 - \prod_{i=1}^{m} q_i^n)^l$$

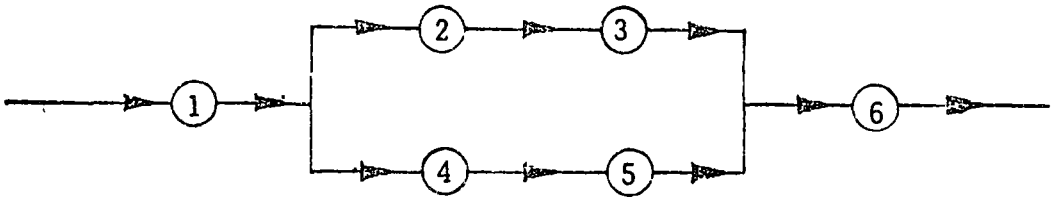
2.3.3.4. Ejemplos

2.3.3.4.1. En sistemas administrativos y en particular cuando se estudia el factor ausentismo o baja eficiencia por distracciones en ho-

ras de trabajo, es frecuente comprobar empíricamente [ ] la



(A)



(B)

fig. 2.27

hipótesis bernoulliana. Supóngase que al diseñar el sistema existen dos opciones la A que es paralelo-serie (fig.2.27) y la B que es serie-paralelo y se busca seleccionar la de mayor confiabilidad, teniendo presentes las características reales de los empleados, así como las cargas de trabajo a las que se vería sujeto el sistema cualquiera que sea su configuración. Para el presente análisis se excluirán los nudos (1) y (6) ya que en ambas opciones su efecto en la confiabilidad es el mismo y se sobreentiende que en la opción A existe ayuda mutua en cada sub-sistema.

Nominalmente un documento es procesado por el empleado en 5 minutos, tiempo suficiente para ello, sin embargo, se considera que existe una falla cuando el empleado tarda más de

10 minutos en procesarlo. De acuerdo con estos estandares se ha determinado que $q_2=0.92$, $q_3=0.85$, $q_4=0.89$, $q_5=0.95$ ¿Por cuál de las dos configuraciones conviene optar?

Para la configuración A se tiene

$$R(n)= \left[1-(1-q_2^n)(1-q_4^n)\right] \left[1-(1-q_3^n)(1-q_5^n)\right]$$

$$R(n) = \left[(q_2q_3)^n+(q_2q_5)^n+(q_3q_4)^n+(q_4q_5)^n\right] - \left[(q_2q_3q_4)^n+(q_2q_3q_5)^n + (q_2q_4q_5)^n + (q_3q_4q_5)^n\right] + \left[(q_2q_3q_4q_5)^n\right]$$

$$R(n)= \left[(0.782)^n+(0.874)^n+(0.756)^n+(0.845)^n\right] - \left[(0.696)^n+(0.743)^n + (0.778)^n+(0.719)^n\right] + \left[(0.661)^n\right]$$

Para la configuración B se tiene:

$$R(n) = 1-(1-(q_2q_3)^n)(1-(q_4q_5)^n)$$

$$R(n) = \left[(q_2q_3)^n+(q_4q_5)^n\right] \left[(q_2q_3q_4q_5)^n\right]$$

$$R(n) = \left[(0.782)^n+(0.845)^n\right] \left[(0.661)^n\right]$$

Si se busca la confiabilidad diaria para diferentes cargas de trabajo que varían de 10 a 30 documentos

Carga Diaria	Confiabilidad Diaria	
	A	B
10	41.19%	25.52%
20	10.21%	4.18%
30	2.42%	0.01%

Conviene seleccionar la opción A paralelo-serie, con base en la confiabilidad diaria.

Si la definición de falla cambia y se considera que ocurre cuando tarda más de quince minutos, entonces

$$q_2=0.97,\ q_3=0.92,\ q_4=0.95,\ q_5=0.99$$

y por tanto para la opción A resulta:

$$R(n)=\left[(0.892)^n+(0.960)^n+(0.874)^n+(0.941)^n\right]-\left[(0.868)^n+\right.$$
$$\left.+(0.883)^n+(0.912)^n+(0.868)^n\right]+\left[(0.839)^n\right]$$

$$R(n)=\left[(0.892)^n+(0.941)^n\right]-\left[(0.839)^n\right]$$

Carga Diaria	Confiabilidad Diaria	
	A	B
10	83.98%	69.04%
20	60.02%	36.82%
30	41.63%	18.86%

Con base en la confiabilidad únicamente conviene la opción A.

Calculando ahora la esperanza del número de documentos tramitados sin falla:

i) Caso 10 minutos, opción A:

$$NMOSF=\left[\frac{1}{1-0.782}+\frac{1}{1-0.874}+\frac{1}{1-0.756}+\frac{1}{1-0.845}\right]-$$
$$-\left[\frac{1}{1-0.696}+\frac{1}{1-0.843}+\frac{1}{1-0.778}+\frac{1}{1-0.719}\right]+\left[\frac{1}{1-0.661}\right.$$
$$=\left[4.587+7.937+4.098+6.452\right]-\left[3.289+3.891+\right.$$
$$\left.+4.505+3.559\right]+\left[2.950\right]=10.78 \text{ documentos}$$

Caso 10 minutos, opción B:

$$NMOSF = \left[4.587 + 6.452\right] - \left[2.950\right] = 8.09 \text{ documentos}$$

ii) Caso 15 minutos, opción A:

$$NMOSF = \left[\frac{1}{1-0.892} + \frac{1}{1-0.960} + \frac{1}{1-0.874} + \frac{1}{1-0.941}\right]$$

$$- \left[\frac{1}{1-0.848} + \frac{1}{1-0.883} + \frac{1}{1-0.912} + \frac{1}{1-0.865}\right] + \left[\frac{1}{1-0.839}\right]$$

$$= \left[9.259 + 25 + 7.937 + 16.949\right] -$$

$$- \left[6.579 + 8.547 + 11.364 + 7.407\right] + \left[6.211\right]$$

NMOSF = 31.459 documentos.

Caso 15 minutos, opción B:

$$NMOSF = \left[9.259 + 16.949\right] - \left[6.211\right] = 20 \text{ documentos}$$

Se confirma la ventaja de la opción A, en lo que a confiabilidad se refiere.

2.3.3.4.2. Considérese un segundo sistema administrativo cuya configuración se muestra en la figura 2.28

Se desea conocer la confiabilidad diaria, para cargas de trabajo que varían entre 10 y 30 documentos, así como la sensibilidad del sistema a los diferentes componentes.

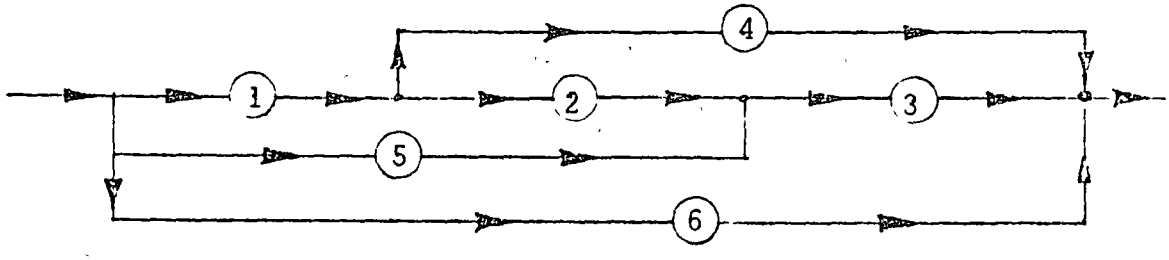


fig. 2.28

La falla se define de la misma manera que en el caso anterior y la probabilidad de supervivencia por documento procesado es de

$$q_1=0.98$$

$$q_2=0.97$$

$$q_3=0.92$$

$$q_4=0.95$$

$$q_5=0.99$$

$$q_6=0.96$$

Para la solución se empleará la siguiente rutina [ ]

1. Identificación, de todas y cada una, de las rutas simples.

2. Cálculo, mediante sumas binarias, de las restantes rutas (múltiples).

3. Obtención de la función de confiabilidad y evaluación para las distintas cargas de trabajo.

4. Obtención de la sensibilidad respecto a las componentes mediante la igualdad:

$$\frac{\partial R(n)}{\partial R_i(n)} = S_i(n)$$

El algoritmo usado requiere que a las rutas obtenidas por simple inspección se les asocie el signo negativo, las combina-

ciones pares de ellas resultan con signo positivo y las impares con signo negativo. La confiabilidad a su vez, debe ser cambiada de signo.

Las rutas simples, obtenidas por mera inspección, son

$$\begin{cases} (1): & (1)\ ,\ (2) & (3) \\ (2): & (1)\ ,\ (4) & \\ (3): & (5)\ ,\ (3) & \\ (4): & \quad (6) & \end{cases}$$

mismas que representadas en forma vectorial y con el signo asociado resultan

$$\begin{cases} (1): & -\ (1,1,1,0,0,0) \\ (2): & -\ (1,0,0,1,0,0) \\ (3): & -\ (0,0,1,0,1,0) \\ (4): & -\ (0,0,0,0,0,1) \end{cases}$$

De manera que las rutas múltiples son:

$$\begin{cases} (1) + (2): & +\ (1,1,1,1,0,0) \\ (1) + (3): & +\ (1,1,1,0,1,0) \\ (1) + (4): & +\ (1,1,1,0,0,1) \\ (2) + (3): & +\ (1,0,1,1,1,0) \\ (2) + (4): & +\ (1,0,0,1,0,1) \\ (3) + (4): & +\ (0,0,1,0,1,1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (1) + (2) + (3): - (1,1,1,1,1,0) \\ (1) + (2) + (4): - (1,1,1,1,0,1) \\ (2) + (3) + (4): - (1,0,1,1,1,1) \end{cases}$$

$$\{ (1) + (2) + (3) + (4): + (1,1,1,1,1,1)$$

La función de confiabilidad es:

$$\begin{aligned} R(n)= &+ \left[R_1(n)R_2(n)R_3(n)+R_1(n)R_4(n)+R_3(n)R_5(n)+R_6(n)\right] - \\ &- \left[R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_4(n)+R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_5(n)+R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_6(n)+\right. \\ &\left. + R_1(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n)+R_2(n)R_4(n)R_6(n)+R_3(n)R_5(n)R_6(n)\right] + \\ &+ \left[R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n)+R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_4(n)R_6(n) + \right. \\ &\left. + R_1(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n)R_6(n)\right] - \left[R_1(n)R_2(n)R_3(n)R_4(n)R_5(n)R_6(n)\right] \end{aligned}$$

De manera que

$$\begin{aligned} R(n)= &\left[(q_1q_2q_3)^n+(q_1q_4)^n+(q_3q_5)^n+q_6^n\right] - \left[(q_1q_2q_3q_4)^n+\right. \\ &+(q_1q_2q_3q_5)^n+(q_1q_2q_3q_6)^n+(q_1q_3q_4q_5)^n+(q_2q_4q_6)^n+ \\ &\left.+(q_3q_5q_6)^n\right] + \left[(q_1q_2q_3q_4q_5)^n+(q_1q_2q_3q_4q_6)^n+\right. \\ &\left.+(q_1q_3q_4q_5q_6)^n - (q_1q_2q_3q_4q_5q_6)^n\right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(n)= &\left[(0.874)^n+(0.931)^n+(0.911)^n+(0.960)^n\right] - \left[(0.831)^n+(0.866)^n+\right. \\ &+(0.840)^n+(0.848)^n+(0.885)^n+(0.874)^n\left.\right] + \left[(0.823)+(0.798)^n+\right. \\ &\left.+(0.814)^n\right] - \left[(0.790)^n\right] \end{aligned}$$

y finalmente:

$R(10)= 77.3\%$, $R(20) = 63.8\%$, $R(30)= 42.2\%$

por lo que hace a la sensibilidad:

$$S_1(n)= \left[(q_2q_3)^n+(q_4)^n\right] - \left[(q_2q_3q_4)^n+(q_2q_3q_5)^n+(q_2q_3q_6)^n+ +(q_3q_4q_5)^n\right] + \left[(q_2q_3q_4q_5)^n+(q_2q_3q_4q_6)^n+(q_3q_4q_5q_6)^n\right] - - \left[(q_2q_3q_4q_5q_6)^n\right]$$

$$S_1(n)= \left[(0.892)^n+(0.950)^n\right] - \left[(0.848)^n+(0.883)^n+(0.857)^n+ + (0.865)^n\right] + \left[(0.839)^n+(0.814)^n+(0.831)^n\right] - \left[(0.806)^n\right]$$

$$S_1(10)= 0.331, \quad S_1(20)= 0.297, \quad S_1(30)= 0.202$$

$$S_2(n)= \left[(q_1q_3)^n\right] - \left[(q_1q_3q_4)^n+(q_1q_3q_5)^n+(q_1q_3q_6)^n+(q_4q_6)^n\right] + \left[(q_1q_3q_4q_5)^n+(q_1q_3q_4q_6)^n\right] - \left[(q_1q_3q_4q_5q_6)^n\right]$$

$$S_2(n)= \left[(0.902)^n\right] - \left[(0.857)^n+ (0.893)^n+(0.866)^n+(0.912)^n\right] + \left[(0.848)^n+(0.823)^n\right] - \left[(0.814)^n\right]$$

$$S_2(10)= -0.607 \qquad S_2(20)= -0.196 \ , \quad S_2(30)= -0.067$$

$$S_3(n)= \left[(q_1q_2)^n+q_5^n\right] - \left[(q_1q_2q_4)^n+(q_1q_2q_5)^n+(q_1q_2q_6)^n+(q_1q_4q_5)^n +(q_5q_6)^n\right] + \left[(q_1q_2q_4q_5)^n+(q_1q_2q_4q_6)^n+(q_1q_4q_5q_6)^n\right] - \left[(q_1q_2q_4q_5q_6)^n\right]$$

$$S_3(n)= \left[(0.951)^n+(0.990)^n\right] - \left[(0.903)^n+(0.941)^n+(0.913)^n+ + (0.922)^n+(0.950)^n\right] + \left[(0.894)^n+(0.867)^n+(0.904)^n\right] -$$

$$- \left[(0.859)^n \right]$$

$S_3(10) = -0.129 \qquad S_3(20) = 0.290 \qquad S_3(30) = 0.474$

$$S_4(n) = \left[(q_1)^n \right] - \left[(q_1q_2q_3)^n + (q_1q_3q_5)^n + (q_2q_6)^n \right] + \left[(q_1q_2q_3q_5)^n + \right.$$

$$\left. + (q_1q_2q_3q_6)^n + (q_1q_3q_5q_6)^n \right] - \left[(q_1q_2q_3q_5q_6)^n \right]$$

$$S_4(n) = \left[(0.980)^n \right] - \left[(0.875)^n + (0.893)^n + (0.931)^n \right] + \left[(0.866)^n + \right.$$

$$\left. + (0.890)^n + (0.857)^n \right] - \left[(0.831)^n \right]$$

$S_4(10) = 0.212 \qquad S_4(20) = 0.364 \qquad S_4(30) = 0.490$

$$S_5(n) = \left[(q_3)^n \right] - \left[(q_1q_2q_3)^n + (q_1q_3q_4)^n + (q_3q_6)^n \right] + \left[(q_1q_2q_3q_4)^n \right.$$

$$\left. + (q_1q_3q_4q_6)^n \right] - \left[(q_1q_2q_3q_4q_6)^n \right]$$

$$S_5(n) = \left[(0.92)^n \right] - \left[(0.875)^n + (0.857)^n + (0.883)^n \right] + \left[(0.831)^n + \right.$$

$$\left. + (0.822)^n \right] - \left[(0.798)^n \right] ; \; S_5(10) = -0.138, S_5(20) = 0.025, S_5(30) = 0.03($$

$$S_6(n) = \left[1 \right] - \left[(q_1q_2q_3)^n + (q_2q_4)^n + (q_3q_5)^n \right] + \left[(q_1q_2q_3q_4)^n + \right.$$

$$\left. + (q_1q_3q_4q_5)^n \right] - \left[(q_1q_2q_3q_4q_5)^n \right]$$

$$S_6(n) = 1 - \left[(0.875)^n + (0.922)^n + (0.911)^n \right] + \left[(0.831)^n + (0.848)^n \right] -$$

$$- \left[(0.823)^n \right]$$

$S_6(10) = 0.105 \qquad S_6(20) = 0.621 \qquad S_6(30) = 0.842$

En resumen:

n	R(n)	$S_1(n)$	$S_2(n)$	$S_3(n)$	$S_4(n)$	$S_5(n)$	$S_6(n)$
10	77.3%	+33.1%	-60.7%	-12.9%	+21.2%	-13.8%	+10.5%
20	63.8%	+29.7%	-19.6%	-29.0%	+34.4%	+ 2.5%	+62.1%
30	42.2%	+20.2%	- 6.7%	+47.4%	+49.0%	+ 3.6%	+84.2%

lo que permite concluir

i) La confiabilidad diaria disminuye conforme aumenta la carga de trabajo.

ii) La sensibilidad para el nudo (1) disminuye al aumentar la carga de trabajo.

iii) Para los restantes nudos la sensibilidad aumenta.

iv) Es particularmente importante la de los nudos (4) y (6).

v) La del nudo (2) es la menos importante.

Por otra parte el número medio de operaciones sin falla NMOSF resulta:

$$NMOSF = \left[\frac{1}{1-0.874} + \frac{1}{1-0.931} + \frac{1}{1-0.911} + \frac{1}{1-0.960}\right]$$

$$- \left[\frac{1}{1-0.831} \quad \frac{1}{1-0.866} \quad \frac{1}{1-0.840} \quad +\right.$$

$$\left. + \quad \frac{1}{1-0.848} \quad \frac{1}{1-0.885} \quad \frac{1}{1-0.874}\right] +$$

$$+ \left[\frac{1}{1-0.823} \quad \frac{1}{1-0.798} \quad \frac{1}{1-0.814}\right] - \left[\frac{1}{1-0.790}\right]$$

$$NMOSF = \left[7.937 + 14.493 + 11,236 + 25.000\right] -$$

$$-\left[5.917+7.463+6.250+6.579+8.696+7.937\right] +$$

$$+ \left[5.650+4.950+5.376\right] - \left[4.762\right] = 58.666 -$$

$$- 42.842+16.336-4.762 = 27.398$$

NMOSF = 27.398 documentos/día.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ASPECTOS DISCRETOS DE LA FIABILIDAD ORIENTADA A SISTEMAS ADMINISTRATIVOS

(Continuación)

M. EN I. FRANCISCO J. JAUFFRED

JUNIO-SEPTIEMBRE, 1977.

The next step in the procedure is to eliminate x_j from all other equations by substituting Eq. (2.4) for x_j. Eliminating x_j from the equation for x_k, for example, produces

$$x_k = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n} \left(a_{ik} + \frac{a_{ij}a_{jk}}{1 - a_{ij}} \right) x_i \tag{2.6}$$

Continued reductions of this type lead to a one-step cascade graph, as will be shown by manipulating the SFG in Fig. 2.9. The flow graph, which will be solved for x_1, is a graphical representation of the equation

$$x_1 = 2 + 3x_2 - x_3, \qquad x_2 = 1 - x_1 - x_3, \qquad x_3 = x_1 - x_2 \tag{2.7}$$

As a first step in the reduction, we eliminate node 3. This is equivalent to substituting for x_3 into the equations for x_1 and x_2.

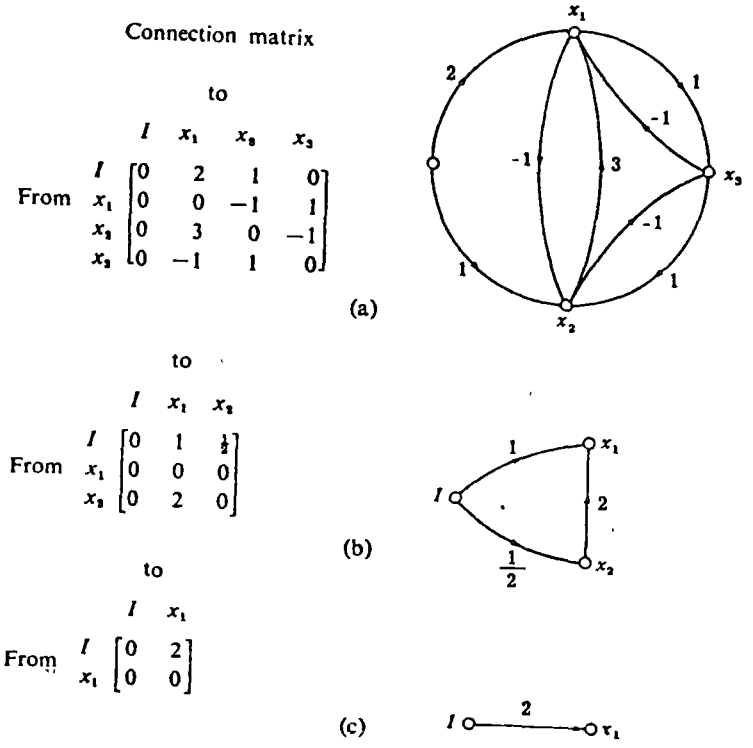


Fig. 2.9. (a) SFG and its connection matrix. (b) Reduction of Fig 2.9 by elimination of node x_3. (c) Further reduction of Fig 2.9 by elimination of node x_2. The solution is $x_1 = 2I$.

Next, the node x_2 is removed. This is equivalent to substituting for x_2 into the equation for x_1. Thus, we obtain $x_1 = 2$, which is the solution to Eq. (2.7).

Although this procedure is relatively simple, and lends itself well to computer algorithms, all information pertaining to the effects of any particular parameter, a_{ij} on the output x_1 is lost by the time the manipulations are completed. If a solution for x_2 or x_3 is required, the procedure must be repeated.

Mason's Rule

In SFG language, the value of an unknown in a linear system can be expressed as

$$x_i = \sum_{j=1}^{n} (T_{j \to i})(\text{input})_j \tag{2.8}$$

where x_i is the ith output, n is the number of inputs, and $T_{j \to i}$ is the transmittance (path gain) from input node j to output node i. The *transmittance* $T_{j \to i}$ is actually the constrained derivative of x_i with respect to the jth input. $T_{j \to i}$ can also be thought of as the ratio

$$T_{j \to i} = \frac{\text{Contribution of input } j \text{ to output } i}{\text{input } j} \tag{2.9}$$

When all of the transmittances are found, the set of equations represented by a graph is essentially solved.

An ingenious technique for evaluating the transmittance T from a specified input node to an output node in a graph based on the formulation represented by Eq. (2.2) was devised by Mason [6]. The technique is commonly referred to as Mason's rule and is expressed as†

$$T = (\sum P_k \Delta_k)/\Delta \tag{2.10}$$

The summation in this equation is over all of the paths leading from an input node to an output node. The quantities P_k and Δ_k are associated with the kth path.

The quantity Δ in Eq. (2.10) has a value equal to the value of the determinant of the system of Eqs. (2.1) and is computed from information pertaining to the loops present in the SFG representation.

† A derivation of Mason's rule is given in Appendix C

L_k is the product of the branch gains encountered in tracing the loop. If any two loops in the signal flow graph have a common node, these loops touch. The expression for Δ is formed as follows:

$$\begin{aligned}\Delta = 1.0 &- (\Sigma \text{ loop gains}) \\ &+ (\Sigma \text{ product of loop gains taken two at a time but not containing the product of any two loop gains which correspond to touching loops}) \\ &- (\Sigma \text{ product of loop gains taken three at a time but not containing any terms which contain the product of loop gains corresponding to touching loops}) \\ &+ (\Sigma \text{ product of loop gains taken four at a time with same conditions as previously}) \\ &- \cdots \end{aligned} \tag{2.11}$$

The Δ for a system with three nontouching loops is

$$\Delta = 1.0 - (L_1 + L_2 + L_3) + (L_1L_2 + L_1L_3 + L_2L_3) - (L_1L_2L_3) \tag{2.12}$$

If loops L_1 and L_3 touch, the corresponding Δ is

$$\Delta = 1.0 - (L_1 + L_2 + L_3) + (L_1L_2 + L_2L_3) \tag{2.13}$$

The quantity P_k in Eq. (2.10) represents the gain of the kth direct path from the input node of interest to the output node of interest. The quantity Δ_k associated with a path P_k is easily obtained from Δ by deleting those terms which contain loop gains corresponding to loops touched by path P_k.

Applying Mason's Rule

Considering Eqs (1.1) and the associated signal flow graph shown in Fig. 1.1, we see that there are two loops: $x_2 \to x_3 \to x_2$ having a loop gain L_1 of $(-1)\cdot(-1) = (1)$, and $x_1 \to x_3 \to x_2 \to x_1$ having a loop gain L_2 of $(5)(-1)(-2) = (10)$. Delta is then

$$\begin{aligned}\Delta &= 1 - L_1 - L_2 + \cancel{L_1L_2} \\ &= 1 - 1 - 10 \\ &= -10 \end{aligned} \tag{2.14}$$

The term L_1L_2 was deleted from Eq. (2.14) because the two loops touch at nodes x_2 and x_3.

In evaluating x_2, for instance, one path is seen to lead from input$_1$ to x_2. This path is input$_1 \to x_1 \to x_3 \to x_2$ having a gain P_1 of $(1)(5)(-1) = (-5)$ and a Δ_1 of

$$\Delta_1 = 1 - \cancel{L_1} - \cancel{L_2} = 1$$

This expression follows directly from Eq. (2.14), the loop gains L_1 and L_2 having been deleted since the path touches both loops. The transmittance from node input$_1$ to x_2 is now obtained using Mason's rule.

$$T_{\text{input}_1 \to x_2} = (\Sigma P_i\Delta_i)/\Delta = [(-5)(1)]/-10 = 0.5$$

The summation in this equation contains only one term since there is only one path from input$_1$ to x_2. Also, only one path leads from input$_2$ to x_2. This path is input$_2 \to x_2$ having a gain P_1 of 1.0 and a Δ_1 of 1.0, as in the previous case, since the path touches both loops at node x_2. The transmittance from node input$_2$ to x_2 is now obtained using Mason's rule.

$$T_{\text{input}_2 \to x_2} = (\Sigma P_i\Delta_i)/\Delta = [(1)(1)]/-10 = -0.1$$

Having evaluated all of the necessary transmittances, the value of x_2 is computed via Eq. (2.8).

$$\begin{aligned} x_2 &= \text{input}_1 \cdot T_{\text{input}_1 \to x_2} + \text{input}_2 \cdot T_{\text{input}_2 \to x_2} \\ &= (5)(0.5) + (5)(-0.1) \\ &= 2.5 - 0.5 \\ &= 2.0 \end{aligned}$$

This procedure has indeed yielded the correct value for x_2. In a similar fashion, the value of x_1 and x_3 can be shown to be 1.0 and 3.0, respectively.

As a further demonstration of the use of Mason's rule, we offer Engelstadt's [7] flow graph solution to the heat exchanger control problem investigated by Haskins and Shepcevich [8]. In the heat exchanger of Fig. 2.10, hot oil is being cooled by a coolant.

The variables are: T_{in}, T_{f} = hot oil temperatures in and out; T_{cin}, T_{co} = coolant temperature in and out; T_{w} = wall temperature; W, W_{c} = oil and coolant flow rates respectively; K = gain constant for controller.

The specific problem of interest is to calculate the fluctuations of the outlet oil temperature (T_{f}^*) due to variations in the inlet coolant flow rate, (W_{c}^*) and to find the controller gain which makes T_{f}^* independent of

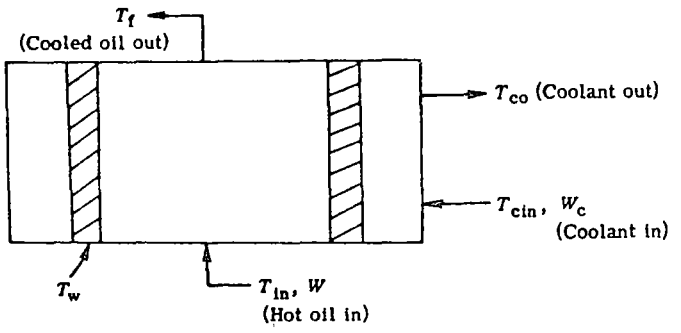


Fig. 2.10. Heat exchange system of Haskins and Sliepcevich

W_c^*. In flow chart terminology, we require the transmittance $T_{W_c^* \to T_f^*}$. By writing the heat balances in terms of transient (T^*) and steady state (T_{ss}) temperatures, where $T = T_{ss} + T^*$, and, evaluating the constants from system parameters and experimental data, the following linearized steady state equations were obtained by Haskins and Sliepcevich:

$$\begin{aligned} 0 = dT_f^*/dt &= -136.3T_f^* + 31.7T_w^* + 10.6W^*, \\ 0 = dT_w^*/dt &= -83.3T_w^* + 41.1T_f^* + 21.0T_{co}^*, \\ 0 = dT_{co}^*/dt &= -171T_{co}^* + 82.8T_w^* - 67.6W_c^* \\ W^* &= KT_w^* \end{aligned} \tag{2.15}$$

These equations can be manipulated to form the Mason graph of Fig. 2.11.

We now apply Mason's rule

$$T_{W_c^* \to T_f^*} = (\sum P_k \Delta_k / \Delta) \tag{2.16}$$

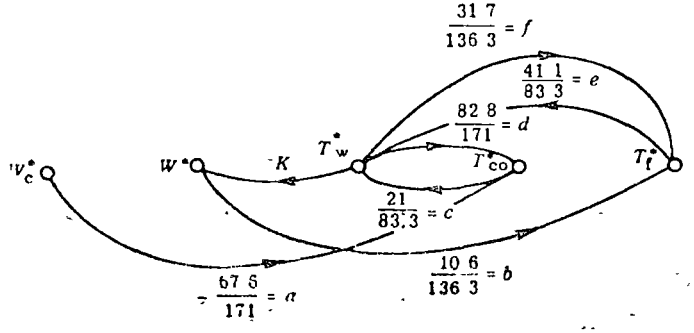


Fig. 2.11. SFG for heat exchanger.

The loops, all of which touch, are

$$L_1 = fe, \qquad L_2 = Keb, \qquad L_3 = dc$$

Thus

$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3) = 1 - fe - Keb - dc$$

The paths from the source to sink are

$$P_1 = acf, \qquad \Delta_1 = 1 \quad \text{(all loops touch the forward path)}$$
$$P_2 = acKb, \qquad \Delta_2 = 1 \quad \text{(all loops touch the forward path)}$$

Hence

$$T_{W_c^* \to T_f^*} = \frac{acf + acKb}{1 - fe - Keb - dc} \tag{2.17}$$

To achieve a comparison between this result and that obtained by Haskins and Sliepcevich, we examine the invariance condition where the control is such that the oil outflow temperature T_f^* is invariant to fluctuations in W_c. We require $T_{W_c \to T_f^*} = 0$; thus

$$acf = -acKb \tag{2.18}$$

Solving for K, we obtain $K = -2.99$, which is the correct result.

Application of Mason's Rule to Dynamic Systems

The automobile suspension system considered in Chapter 1 will be used now as an example of the applicability of Mason's rule to dynamic systems. The signal flow graph representation of the system was shown in Fig. 1.4.

The signal flow graph is seen to contain two loops. The first loop is $sV(s) \to V(s) \to sV(s)$, and has a loop gain L_1 of $-f/ms$. The second loop is $sV(s) \to V(s) \to sX(s) \to X(s) \to sV(s)$, and has a loop gain L_2 of $-k/ms^2$. The function Δ is computed via Eq. (2.11) as

$$\Delta = 1 - L_1 - L_2 + L_1L_2 \tag{2.19}$$

$$\Delta = 1 + f/ms + k/ms^2 \tag{2.20}$$

To evaluate the output $X(s)$, the transmittance from each input node to $Y(s)$ must be evaluated. Considering the input $U(s)$, one path having a

gain $1/ms^2$ is seen to lead from $U(s)$ to $X(s)$. The Δ_1 associated with this path is just 1.0 since the path touches both loops. The transfer function from input $U(s)$ to $X(s)$ is then obtained via Mason's rule as $(1/ms^2)(1/\Delta)$. With respect to the second input, $v(0)$, there is again but one path leading to $X(s)$. This path has a gain of $1/s^2$ and a Δ_1 of 1.0 since it also touches both loops. Applying Mason's rule again yields the transfer function from $v(0)$ to $X(s)$ as $(1/s^2)(1/\Delta)$. The output node, $X(s)$, can be accessed from the third input, $x(0)$, by a single path which has a gain of $1/s$. The Δ_1 corresponding to this path is $(1\ 0 - L_1)$, or $(1 + f/ms)$, since the path does not touch L_1. The desired transfer function is $(1/s)(1 + f/ms)(1/\Delta)$.

Having evaluated all of the required transfer functions, an expression for the output $X(s)$ can now be written by virtue of Eq. (2.8).

$$X(s) = U(s) \cdot \frac{1/ms^2}{1 + f/ms + k/ms^2} + v(0) \cdot \frac{1/s^2}{1 + f/ms + k/ms^2} + x(0) \cdot \frac{(1/s)(1 + f/ms)}{1 + f/ms + k/ms^2} \tag{2.21}$$

or

$$X(s) = U(s) \cdot \frac{1/m}{s^2 + (f/m)s + k/m} + v(0) \cdot \frac{1}{s^2 + (f/m)s + k/m} + x(0) \cdot \frac{s + f/m}{s^2 + (f/m)s + k/m} \tag{2.22}$$

If the initial conditions $v(0)$ and $x(0)$ are zero, Eq. (2.22) reduces to

$$X(s) = U(s) \cdot \frac{1/m}{s^2 + (f/m)s + k/m} \tag{2.23}$$

In the more general case, however, a forcing function $U(s)$ is specified along with values for the initial conditions $v(0)$ and $x(0)$, and then the inverse Laplace transform of Eq. (2.22) yields the transient response of the system.

Additional drill in the use of Mason's rule can be obtained from the excellent programmed text of signal-flow-graph analysis recently published by Ward and Strum [9]. A discussion of other applications of flow-graph theory and Mason's rule is referred to later chapters.

REFERENCES

1. J. McCarthy, P. W. Abrahams, D. J. Edwards, T. P. Hart, and M. I. Levin, "LISP 1.5 Programmer's Manual." MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1966.
2. D. P. Friedman, GRASPE graph processing: A LISP extension. Rep. TNN-84. Comput. Center, Univ. of Texas, Austin, 1968.
3. J. Weizenbaum, Symmetric list processor. *Commun. Ass. Comput. Mach.* **6**, 524 (1963).
4. D. J. Farber and R. E. Griswold, SNOBOL, A string manipulation language. *J. Ass. Comput. Mach.* **11**, 21 (1964).
5. 'COMIT Programmer's Reference Manual" MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.

5a. P. M. Lin and G. M. Alderson, SNAP: Symbolic network analysis program. *Proc. Inst. Elec. Eng.* **119**, 160 (1972).

6. S. J. Mason, Feedback theory: Further properties of signal flow graphs. *Proc. IRE* **44**, 920 (1956).
7. D. G. Engelstadt, On Decision Variable Contingency and System Desensitization in Process Design. Ph. D. Dissertation, Univ. of Wisconsin, Madison, Wisconsin, June 1970.
8. D. E. Haskins and C. M. Sliepcevich, *Ind. Eng. Chem. Fundam.* **4**, 245 (1965).
9. J. R. Ward and R. D. Strum, "The Signal Flow Graph in Linear Systems Analysis." Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1968.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

EL ENFOQUE SISTEMICO PARA LA PLANEACION DEL DESARROLLO URBANO

M. en C. JAIME LUNA TRAILL

Julio de 1977

LA APLICACION DEL ANALISIS DE SISTEMAS AL DESARROLLO URBANO

C O N T E N I D O

	PAG.
I. ANTECEDENTES	1
II. LAS DIVERSAS APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS EN EL DESARROLLO URBANO A NIVEL MUNDIAL.	9
III. BREVE DESCRIPCION DEL USO DEL ANALISIS DE SISTEMAS EN MEXICO.	23
BIBLIOGRAFIA.	

LA APLICACION DEL ANALISIS DE SISTEMAS AL DESARROLLO URBANO

I. ANTECEDENTES

Los últimos 30 años de desarrollo del país, han contemplado modificaciones sustantivas en su estructura y organización. Se observa una tendencia a la madurez política del sistema, una creciente toma de conciencia respecto al papel internacional que el país debe jugar en ese contexto, un desarrollo industrial acelerado y otros muchos factores que delinean una evolución que se podría resumir en el incremento del producto interno bruto, que convencionalmente se toma como índice de crecimiento. Sin embargo, este crecimiento ha traído aparejado, una secuela de desequilibrios lógicos, dadas sus características y la ausencia de un marco de referencia que permita situar las acciones en el contexto global y evaluar de que manera participan en el logro del modelo del país deseado.

Como resultante de este proceso, nos encontramos ante un territorio de dos millones de kilómetros cuadrados, con enorme potencial de recursos insuficientemente aprovechados, dada la concentración geográfica de los principales centros de actividad económica y el olvido casi total de áreas con enormes recursos naturales (vg. las costas y el aprovechamiento pesquero).

Esta estructura es causa de movimientos migracionales y se fortalece igualmente como efecto ante el crecimiento demográfico y el proceso de urbanización que genera. Así, conforme la urbanización se vuelve una de las formas predominantes de asentamiento, múltiples problemas y posibilidades en el

desarrollo del país entran claramente en escena.

En el otro extremo, una forma importante del asentamiento rural -los pequeños poblados dispersos- se mantiene vigente, tanto por la tradición ancestral de muchos grupos étnicos, como por las características orográficas del país, con la problemática igualmente conocida que plantean.

En ambos casos, es clara la razón de ser de los centros de población: adaptar el medio natural a las actividades del hombre y crear su habitat artificial. En esta empresa histórica de dominio del medio natural, de organización comunitaria, de generación de grandes centros urbanos, de aprovechamiento de los recursos del país, han surgido grandes áreas de acción para enfrentar problemas específicos o buscar mejores alternativas de aprovechamiento. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los problemas han sido atacados aisladamente, sin contemplar la naturaleza interconectada de todos ellos, ni el hecho de que además de los efectos directos, existen múltiples efectos colaterales en el medio natural, cuya repercusión podrá manifestarse posteriormente a la acción y en modalidades aparentemente poco relacionadas con la acción original.

La idea de que en un medio más urbanizado (o artificial), tales repercusiones sean fácilmente eliminables o controlables por la racionalidad de su organización, es falsa y podría llevarnos a simplificaciones absurdas e incluso peligrosas. A la inversa, sólo la observación, el entendimiento y el manejo conjunto del medio artificial y el medio natural en que el hombre se desenvuelve,

podrá llevarnos a establecer una óptima integración con ese medio y un adecuado aprovechamiento de sus recursos.

El desafío es pues, administrar racionalmente el aprovechamiento de los recursos del territorio nacional, desde la perspectiva del hombre y su medio. Sería imposible pretender desligar estos problemas de la planeación de los asentamientos humanos; pretender que ello no tiene relación con la necesidad de vivienda urbana, la relocalización industrial, la organización comunitaria, sería negar la realidad de un sistema al que el hombre está integrado orgánicamente. Si en siglos anteriores existió cierta separación entre campo y ciudad, la complejidad, extensión y especialización de la actividad económica actual, evidencían la inexistencia de tal división. La clasificación entre planeación regional y planeación urbana es convencional para el establecimiento de una estrategia que deberá operar integralmente.

Por planeación de los asentamientos humanos entendemos, no la organización interna de cápsulas regadas en el territorio, sino la organización de un extenso sistema interrelacionado, que comprende el medio ambiente en el que el hombre se desenvuelve.

Así, además de la importante definición de normas de equipamiento y servicios, organización y uso de la tierra, etc., asignamos a la planeación la responsabilidad de entender el proceso evolutivo del sistema hombre-medio y de interpretarlo dilucidando sus elementos motrices, la manera de interactuar de sus componentes y los efectos previsibles de esta interacción, responsabilidad y fin último de prever y guiar los cambios necesarios para su ópti

funcionamiento.

Las complejas características de la organización humana revisten una gradual especialización de las actividades. Igualmente, dichas actividades demandan una mayor especialización en el uso del medio. La explotación agrícola o pecuaria, la producción industrial, la comercialización de los productos, las actividades de la vida diaria, etc., requieren cada vez más de localizaciones específicas, ya se adapten al medio, o ya lo adapten para su funcionamiento. Estas facetas del proceso provocan igualmente la generación y desarrollo de medios de comunicación alternos y complementarios para cada función y localización específica.

Estos tres aspectos, la organización y funcionamiento de aspectos específicos de la actividad humana, su ubicación geográfica, y los medios de comunicación para su interacción oportuna, constituyen la materia prima de la planeación de los asentamientos humanos.

Ellos se enmarcan en el funcionamiento de la relación hombre-medio, como un sistema que tiende a evolucionar por reacciones en cadena. Así, las decisiones de un individuo o un grupo tienen repercusiones que modifican el contexto en el cual se darán subsecuentemente las decisiones de actuar de otros grupos o individuos. Cada acción altera el estado del sistema y, por lo tanto, la base sobre la cual se efectuará la siguiente acción. Esta interrelación de mutua interdependencia, caracteriza el sistema hombre-medio.

De aquí es posible deducir el nivel de complejidad que representan los múlti

ples factores a considerar en la planeación del desarrollo urbano nacional, y la aportación que las técnicas de análisis de sistemas pueden hacer en la identificación, definición y análisis de sistemas pueden hacer en la identificación, definición y análisis de situaciones complejas. La teoría de sistemas ha demostrado que los principios fundamentales para el manejo y control de sistemas complejos son válidos, cualquiera que sea la naturaleza del sistema que se aborde.

Se intenta como primer paso, proveerse de un marco general que conceptualice el proceso de urbanización del país y establecer las variables básicas, para aplicar el análisis de sistemas a la planeación del desarrollo urbano nacional, por medio de la fusión de los métodos tradicionales de la planeación con el moderno instrumental disponible para el estudio, análisis, evaluación y control de los elementos espaciales de la actividad humana.

Así, para tomar en consideración las interacciones que afectan a una ciudad, tenemos que definir esa ciudad como parte integrante de un sistema. Se debe tener en mente que la definición de un sistema es arbitraria y se caracteriza porque contiene partes interrelacionadas que en cierto sentido conforman un todo; sin embargo, dichas partes, -la ciudad- bien pueden representar un sistema en sí.

Los componentes de nuestro sistema son actividades humanas, en especial aquellas que ocurren en un lugar definido o en una extensión geográfica definida y que están ligadas entre sí por patrones de comunicación concurrentes

y especialmente ubicados. Es decir, aquellos que actúan como canales de enlace entre las áreas donde el hombre desarrolla actividades. A pesar de la importancia de los factores físicos de la urbe, es necesario acentuar el hecho de la actividad y la comunicación como elementos básicos de la planeación del desarrollo urbano.

La organización de los asentamientos humanos, la múltiple interacción entre las partes que la conforman, no corresponde a una máquina que trabaja en forma establecida, sino a un sistema en constante evolución y modificación, un sistema dinámico en tiempo y espacio.

La actividad humana, al localizarse geográficamente, trae como consecuencia la especialización en el uso del suelo, tanto en la dimensión intraurbana como en la dimensión regional, -funcionalidad y vocación de los centros urbanos-. Igualmente, los sistemas de enlace tienen una expresión en el territorio por la ubicación de su infraestructura -carreteras, puertos, aeropuertos, etc.-

Ambos provienen de los requerimientos de organización de la actividad humana y su relación con el medio natural (sistema hombre-medio natural) e influyen el uno al otro en una causación circular. Los flujos de enlace varían en caso de modificaciones en el uso del suelo o en la función de la ciudad dentro del sistema urbano. Simultáneamente y con diferentes modalidades, los usos y funciones tienden a modificarse paulatinamente al cambiar las características de los canales de enlace y comunicación.

Para organizar y manejar un sistema de tal naturaleza, se deberá prever - cuál será su evolución de continuar operando espontáneamente, y cómo se comportaría ante el impacto de estímulos o intervenciones diversas. Esto es, resulta necesario entenderlo y de ser posible experimentar situaciones alternas en el sistema, para pretender su control.

La definición del sistema es una forma de visualizar y esquematizar sus - interrelaciones, para elaborar racionalmente, una visión sinóptica del futu ro. Las técnicas de análisis nos permitirán, una vez definido el sistema, experimentar con las diversas alternativas posibles, para concluir cuál se rá la más deseable.

Por lo tanto, si se entiende el desarrollo urbano como un sistema dinámico que evoluciona en función de innumerables interdependencias, es lógico pen sar que el Plan o los Planes que lo guien debieran elaborarse con una visión similar. Cada plan deberá estar expresado en términos dinámicos, partien do de las condiciones presentes y marcando la dirección y características de la evolución deseada. El Plan indicará el camino como una continuidad, mo dificándose periódicamente y estableciendo las estrategias para lograr el - bienestar, buscando paulatinamente a lo largo del proceso y no sólo al final del horizonte de planeación. Esto es, el proceso de cambio continuo que la organización espacial deberá sufrir.

Un plan es, pues, la descripción de la trayectoria que se considera adecuada en la evolución del sistema y de los medios aplicables para implementar di- cha trayectoria. La modificación del proceso de evolución del sistema -su

implementación- necesariamente presupone el control de esta trayectoria. Control no en el sentido de restricciones, sino en el sentido de estimulación e intervención "positiva", que presupone la evolución y ajuste de la trayectoria. La implementación del Plan requiere que la evolución del sistema urbano se mantenga dentro de límites adecuados que garanticen el alcance de metas y objetivos y en este sentido se visualiza su control y regulación. El instrumento de evaluación control y regulación comparará la información sobre el estado del sistema en ese momento con el estado planeado para el mismo, para proponer los medios correctivos de alguna posible desviación. Esta actualización reviste gran complejidad por la interdependencia entre los elementos que afectan e influencian el desarrollo urbano nacional. En este caso, el uso de modelos facilita también el manejo de analogías que consideren la influencia de los nuevos factores, permitiendo experimentar decisiones alternas para enfrentar la nueva situación. Siendo el tiempo uno de los parámetros del modelo, la simulación de los efectos en el corto, mediano y largo plazo, de dichas decisiones representan una de las grandes ventajas de esta técnica.

Finalmente, es necesario acentuar que el manejo de los modelos tanto para el proceso inicial de planeación como para las subsecuentes de evaluación, control y ajuste requieren de un volúmen importante de información y del correcto manejo de la misma.

Los siguientes capítulos del presente trabajo, tienen como objetivo básico el de explorar algunas técnicas dentro del enfoque sistémico que se deberá dar

a la Planeación del Desarrollo Urbano. Un objetivo secundario, es el de proveer una posible fuente de datos y análisis de utilidad para los profesionales de la planeación interesados en la implementación de sistemas de desarrollo urbano.

II. LAS DIVERSAS APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS EN EL DESARROLLO URBANO A NIVEL MUNDIAL

Con el fin de conjuntar los aspectos básicos que relacionan los sistemas y los modelos diremos que los primeros son hechos o fenómenos interrelacionados mientras que los últimos tratan de reproducir la actividad de un sistema por diferentes medios y con la aplicación de variadas herramientas, como funciones matemáticas, flujos lógicos, experimentos en un laboratorio, simples medios verbales, o incluso nuestra propia reflexión.

Es decir, la idea de un modelo trae implícita la actuación de un sistema y de este podemos derivar modelos que difieran entre sí en términos de los resultados deseados.

1. Sistemas Urbanos

La aplicación inicial del análisis de sistemas al diseño de modelos urbanos se presenta especialmente en Gran Bretaña y los Estados Unidos, observándose características peculiares en su conceptualización y estructura. En Gran Bretaña el énfasis principal ha sido el análisis de los usos del suelo para sistemas de ciudades interdependientes, mientras que en E.E.U.U. los trabajos se han desarrollado para áreas metropolitanas mucho más complica

das apoyándose en los progresos en la planeación del transporte. La evolución de su aplicación y la mutua influencia de los dos enfoques ha permitido la convergencia en una tendencia que incorpora las dos características básicas del patrón de asentamiento actual: las actividades humanas y su intercomunicación que tienen su expresión en los usos del suelo y en la transportación.

2. Origen de los modelos urbanos

El incremento de vehículos durante los años cuarentas y principios de la siguiente década, fue determinante para percibir que el crecimiento de ciudades que seguían conservando sus formas físicas tradicionales, no podía darse racionalmente bajo la influencia de este nuevo factor. Descubiertos estos problemas, se elaboraron los primeros estudios sobre transporte en los que se intentó comprender y resolver la congestión del transporte; a finales de los años cincuentas se estableció la estructura del proceso de planeación del transporte. Parte de este proceso involucró pronósticos sobre generación de viajes y su distribución espacial, para definir la magnitud de estas necesidades se emplearon en la generación de viajes, modelos de regresión lineal, y para la distribución de estos se manejaron modelos gravitacionales, llamados así debido a su analogía con la Ley de la Gravitación Universal de Newton. Las técnicas aplicadas en estos modelos fueron ampliamente usadas y en ausencia de evidencias contradictorias, continuaron siendo cómodamente manejables y sencillas para su operación. Sin embargo, en los estudios de transporte se olvidaron varias implicaciones importantes concernientes al uso del

suelo, omisión que fue descubierta y enmendada cuando resultó obvio que los usos del suelo eran parte dinámica del desarrollo urbano y deberán ser incluidos al efectuar sus estimaciones y extender el ámbito de los pronósticos. La interrelación entre transporte, tráfico y uso del suelo, fue objeto de varias prácticas y debates académicos durante estos años y el trabajo de Mitchel y Rapkin (1954) expuesto en su libro Tráfico Urbano fue determinante para convencer a especialistas de la necesidad de integrar los conceptos de uso del suelo y transporte en la planeación.

El éxito inmediato en términos académicos y operacionales de la planeación del transporte y de sus modelos correspondientes, fue la guía que despertó el interés sobre las posibilidades de construir modelos de usos del suelo. Dos importantes proyectos de investigación que involucraron modelos teóricos de estructura urbana fueron desarrollados a principios de los sesentas. El modelo de localización intraurbana diseñado por London Wingo (1961), y su similar pero ligeramente más teórico y orientado sobre un modelo económico propuesto por William Alonso (1960), establecieron la teoría económica de los sistemas urbanos, comparable con las teorías existentes, de localización económica en sistemas regionales. Los fundamentos empíricos de estos modelos están basados en la economía urbana, y fueron apoyados por la Corporación RAND (1962), logrando una profunda influencia en el desarrollo de la primera generación de modelos urbanos.

Sin embargo, las síntesis obtenidas por Alonso y Wingo, se elaboraron tomando en cuenta las ideas simples que habían sido establecidas, en especial

sobre la localización y el precio del espacio alrededor de un centro comercial. En 1826, Von Thunen sugirió que alrededor de un centro comercial, la renta pagada por la tenencia de la tierra más el costo de transporte de los productos agrícolas, desde el punto de producción al mercado, deberían ser iguales a un valor constante. A partir de un determinado punto a cierta distancia, la renta debería ser cero y el costo total del producto ser igual al costo total de transporte al mercado únicamente. De este planteamiento, no es difícil deducir que la renta declina en función de la distancia al centro comercial. El trabajo de Von Thunen fue olvidado posteriormente, no obstante que resultó ser evidente que no únicamente las rentas sino otros fenómenos, tales como la densidad de población y los viajes al mercado también decrecen con la distancia al centro comercial. El mérito de Wingo fue diseñar un modelo basado en el trabajo de Von Thunen, integrando detalladamente los costos de transporte y explicando la densidad de población, y Alonso tomó este trabajo en un estado posterior desarrollando totalmente un modelo dentro de la teoría microeconómica del comportamiento del consumidor, basado en la máxima utilidad. La mayor restricción de estos análisis, radica en la "suposición monocéntrica" ya que únicamente un centro entraba en el análisis.

Breve historia de la aplicación de modelos urbanos

Modelos Urbanos:- Una primera generación de modelos urbanos, fue diseñada e implementada en Norteamérica principalmente, durante el período de los años 1959 a 1968, en que también se dieron como ya se mencionó, estudios a gran escala sobre transporte y usos del suelo en las grandes áreas metropo-

litanas. Hay algunos análisis excelentes sobre modelos construidos durante este período, y en particular es meritorio mencionar los trabajos de Lowry (1964), Harris (1968), Kilbridge, O'Block y Teplitz (1969), Brown, Grinn, James, Kain y Strszheim (1972) y Lee (1973), los cuales han proporcionado además, excelentes resúmenes de las experiencias con sus modelos. Boyce, Day y Mc Donald (1970) realizaron un análisis sobre el plan estructural de las metrópolis, y presentan material pertinente sobre la planeación de las zonas urbanas, iniciándose con estas bases la construcción de modelos.

Uno de los sorprendentes rasgos de los modelos urbanos durante esos años, fue que su desarrollo sucedió en situaciones de planeación aplicada. Aparte del trabajo de Chapin y sus colegas en la Universidad de Carolina del Norte (1965), la mayor parte de las investigaciones fundamentales en los modelos urbanos fueron realizados bajo los auspicios de las agencias de planeación de las metrópolis, situación probablemente debida en parte a las necesidades de mejores pronósticos y a la disponibilidad de fondos federales.

Con esta variedad tan extensa de análisis fueron utilizadas diversas técnicas, combinando la regresión lineal y los modelos gravitacionales dentro de la programación matemática. Convencionalmente y habiendo sido establecidas las técnicas de estadística lineal, estas fueron utilizadas como base para algunos modelos, en particular el modelo de Greensborough (Chapin y Weiss, 1962), el modelo EMPIRIC de la región de Boston (Hill, 1965) y los modelos de Baltimore y Connecticut (Laksmanan, en 1964 y 1968). Los modelos no lineales, como el del Valle de Delaware (Penn-Jersey), conocido también -

como modelo de distribución de actividades fue construido y usado en forma similar a los anteriores y la mayor parte de estos esfuerzos reflejaron algo de inducción.

En contraste, varios modelos construidos en base a los modelos gravitacionales sugirieron métodos deductivos en función de los cuales, los mecanismos específicos de trabajo de los sistemas urbanos fueron simulados. El modelo de Pittsburgh (Lowry, 1964), el modelo TOMM diseñado por Crecine (1964), el modelo PLUM diseñado por Goldner (1968), así como el modelo de las zonas altas del Estado de New York (Lathrop y Hamburg, 1965), son buenos ejemplos de modelos gravitacionales.

Los modelos basados en la programación matemática, por ejemplo el modelo de localización residencial, originalmente propuesto para Penn Jersey por Herbert y Stevens (1960), que posteriormente fue desarrollado por Harris (1972) en la Universidad de Pennsylvania, y los modelos sobre usos del suelo aplicados en el sureste de Wisconsin por Schlager (1965, 1966), mostraron como las técnicas de optimización pueden ser usadas en los modelos urbanos, no obstante que sus limitaciones habían sido restringidas a las técnicas anteriores. Esquemas de modelos híbridos, como el BASS iniciado por Wendt (1968) y el modelo de localización de mercados empleado en San Francisco diseñado por Robinson, Wolfe y Barringer (1965) en el que se ensayaron varias técnicas, fueron también experimentados, no obstante el exceso de arbitrariedad que a menudo es rasgo característico de estos esquemas. En la figura 1 , se muestra el desarrollo de los modelos urbanos en Norteamérica desde el año 1959 al año 1968, siendo evidente que la mayor actividad

PRINCIPALES PROYECTOS DE MODELOS URBANOS EN NORTEAMERICA DURANTE LA DECADA DE LOS SESENTAS

FIGURA 1

MODELO	AÑO	AUTOR(ES)	TIPO DE MODELO	OBJETIVO	ALCANCE
Greensboroug	1959-1965	Chapin, Weiss	Regresión Lineal	Desarrollo Residencial	Predicción
Boston: EMPIRIC	1963-1967	Hill	Regresión Lineal	Distribución del crecimiento urbano	Predicción
Baltimore	1962-1964	Lakshmanan	Regresión Lineal	Usos del suelo	Predicción
Connecticut	1966-1968	Lakshmanan	Regresión Lineal	Usos del suelo	Predicción
Bay Area: PLUM	1967-1968	Goldner	Gravitacional	Usos del suelo y transportación	Predicción.
Bay Area: BASS	1966-1968	Wendt	Híbrido	Impacto de la localización comercial y residencial al ubicar industrias	Predicción
New York State	1963-1965	Lathrop, Hamburg	Gravitacional	Oportunidad y accesibilidad de distribución del crecimiento regional.	Predicción
S. E. Wisconsin	1964-1968	Schlager	Programación matemática.	Usos del suelo	Predicción
San Francisco	1965-1967	Robinson	Híbrido	Demanda de mercado	Calibración
Washington	1959-1960	Hansen	Híbrido	Pronósticos del uso del suelo para la planeación del transporte.	Predicción
Pittsburg Lowry	1960-1964	Lowry	Gravitacional	Localización de funciones en un área metropolitana.	Calibración
TOMM	1963-1965	Crecine	Gravitacional	Usos del suelo	Calibración
Penn Jersey HS	1959-1961	Herbert, Stevens	Programación matemática	Localización residencial	Abandonado
AAM	1962-1967	Seidman	Programación no - lineal	Distribución de actividades.	Calibración

ocurrió al comienzo y a mediados de la década de los sesentas.

3. Tipo de Modelos Urbanos

Harris define un modelo como "el diseño de un experimento basado en una teoría" que contiene la esencia del proceso constructivo del modelo. En - teoría, los modelos urbanos son diseñados de acuerdo a un proceso formal, el cual puede ser establecido en los siguientes términos: formulación de hipótesis; observación, recopilación de datos y programación; calibración y estimación de parámetros; experimentación, verificación y evaluación; finalmente predicción. Este proceso de explica por si mismo, e incorpora elementos similares a otros procesos de diseño, tales como el arquitectónico y el de ingeniería. Lo anterior está íntimamente relacionado con el - método científico, en el cual las hipótesis son conjuradas y refutadas ya sea por la experimentación o por nuevas observaciones. En este proceso, las - preguntas básicas involucran la elección adecuada de la teoría que servirá de estructura al modelo y a sus hipótesis respectivas, y el objetivo para - refutar las hipótesis por calibración, experimentación, verificación y evaluación no tiene importancia si el modelo es observado como un proyecto - simple. Existen distintos tipos de modelos, en función de los variables que manejan y los resultados que se esperan de ellos:

Modelos demográficos

La esencia fundamental de los modelos demográficos, se basa en la consideración de que una capa o grupo de edad de la población sobrevive de un período de tiempo al siguiente. El análisis y la predicción se efectúan toman

do como base las tres variables que intervienen en este proceso: fecundidad, mortalidad, y migración interna. Para analizar la dinámica poblacional, se han desarrollado modelos uniregionales y multiregionales cuya finalidad es desagregar la población total, por grupos de edad y sexo, en función de las tres variables mencionadas y posteriormente pronosticar el crecimiento y distribución de la población al nivel regional deseado.

Han surgido también modelos sobre flujos de migración, especialmente el de Lowry, sobresaliendo dos variables: edad y ocupación. Su aplicación es la siguiente: los flujos de migración se estiman con estos modelos en una primera etapa y posteriormente los resultados sirven para alimentar a los modelos demográficos.

Los modelos demográficos desarrollados a la fecha se han basado en las hipótesis y suposiciones del modelo que planteo inicialmente Andrei Rogers.

Modelos económicos

En esta parte se describen las principales características de los modelos económicos urbanos y regionales. Tres elementos prioritarios de la actividad económica necesitan ser considerados en la elaboración de modelos urbanos y regionales, para su análisis económico y proyección. Los elementos básicos son: ingreso, interrelaciones entre industrias y empleo.

Los modelos anteriormente mencionados, están basados en la economía urbana que se define como el conjunto de organizaciones de una ciudad o región que produce bienes y servicios. El diseño de los mismos, debe invo-

lucrar a grupos de organizaciones con características similares. En síntesis, el modelo que parte de la base económica, es el que se ha desarrollado más ampliamente y su objetivo es calcular la demanda final para un sector económico.

Aún cuando estos modelos han sido usados en forma simple, la demanda de datos se ha incrementado en forma alarmante, particularmente al estimar los coeficientes técnicos, las importaciones y las exportaciones. Ante tal situación y para simplificar los cálculos excesivos, se han desarrollado los métodos econométricos, en especial la técnica de análisis estadístico de series de tiempo. En este caso, se han desarrollado modelos económicos que abarcan una o varias regiones.

Modelos de transportes

El diseño de los modelos de transporte son en extremo complejos, debido a la gran cantidad de variables que intervienen en el transporte urbano o regional. Algunas de las características que definen este fenómeno son: los viajes para diferentes grupos de población, para diversas finalidades, sobre una multitud de rutas y frecuencias variables; los viajes personales con un mismo origen y destino por la misma ruta; las características tecnológicas de una carretera, que inciden en la frecuencia de los viajes; la existencia de transporte público y privado de diferentes tipos, y la variación del transporte privado a lo largo de un día.

Lo anterior implica, que no es posible analizar al transporte urbano o regio-

nal a gran nivel de agregación, siendo más adecuado dividir el área de estudios en zonas con características homogéneas, estimando los viajes que se generan de zona a zona.

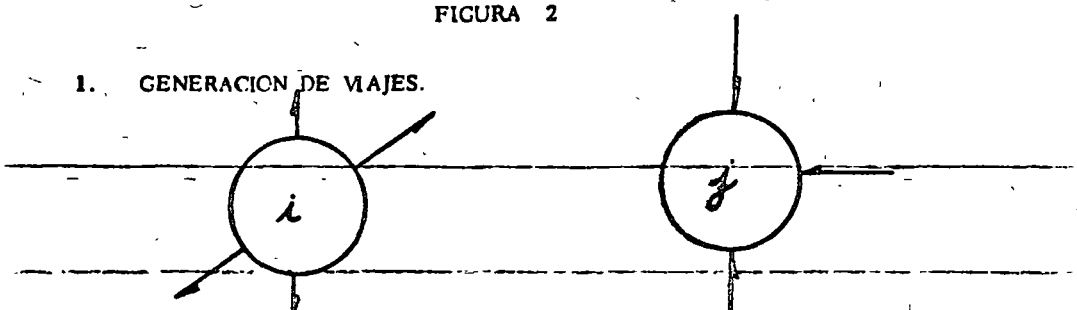
La estructura de un modelo de transporte, consiste en cuatro submodelos: generación de viajes, distribución de viajes, frecuencia, y asignación (fig. 2). La generación es usada como un término genérico de producción y atracción, prediciendo el número total de viajes producidos y atraídos por cada zona. El submodelo distribución de viajes, predice como los viajes partiendo de una zona determinada, deberán ser distribuidos entre las zonas de atracción, esto es, entre todas las demás zonas y en esta etapa, se tiene un grupo de viajes entre cada par de zonas. El submodelo de frecuencias, distribuye proporcionalmente a cada grupo sus frecuencias particulares, teniéndose ahora un grupo de viajes, para cada frecuencia entre cada par de zonas. Por último, el submodelo de asignación, toma los grupos de cada frecuencia colocándolos sobre las rutas de la red, designando cuántos viajes deben ser distribuidos en cada línea de la red. Cada una de estas partes se ensamblan finalmente, obteniéndose el modelo básico de transportes, fig. (3).

Modelos de distribución espacial de actividades

Los estudiosos de la planificación urbana deben orientar su interés en tres aspectos de la organización espacial. En primer lugar, analizar los factores que gobiernan los patrones de localización, en particular con los tipos de actividad en una área limitada. En segundo término, concentrarse con

FIGURA 2

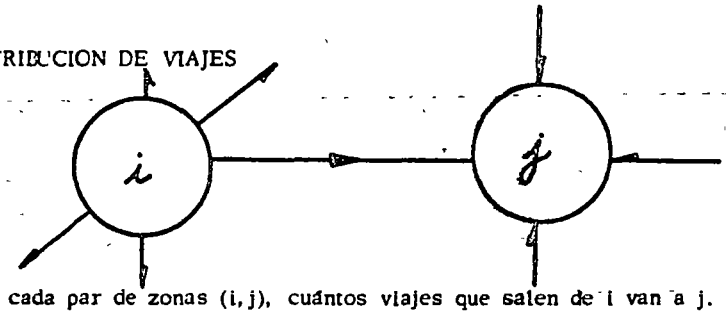
1. GENERACION DE VIAJES.



(i) Todos los viajes salen de cada zona i.

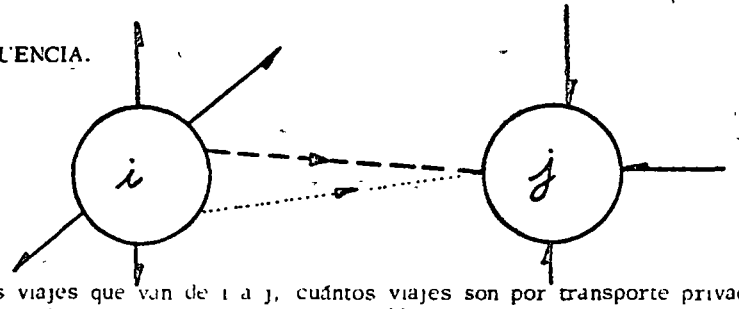
(ii) Todos los viajes llegan a cada zona j.

2. DISTRIBUCION DE VIAJES



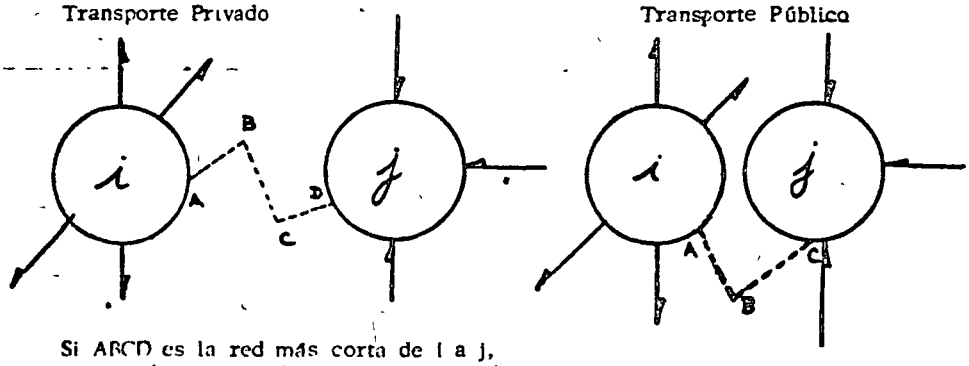
Para cada par de zonas (i, j), cuántos viajes que salen de i van a j.

3. FRECUENCIA.



De los viajes que van de i a j, cuántos viajes son por transporte privado (------) y cuántos por transporte público (.....) .

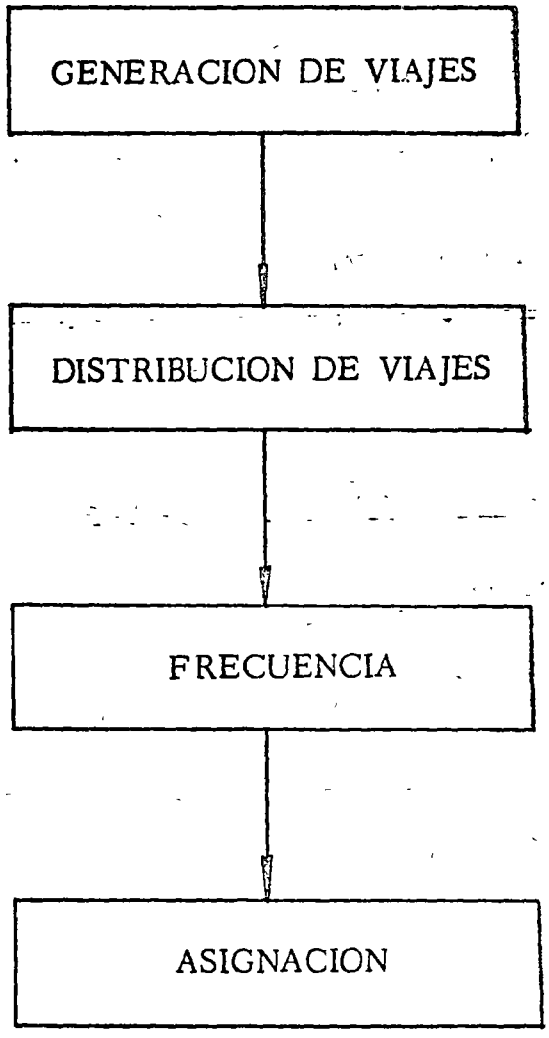
4. ASIGNACION



Si ABCD es la red más corta de i a j, asignar los grupos de viajes a esta red verificando los cursos totales de los viajes asignados a las líneas AB, BC, CD, etc.

REPRESENTACIONES ESQUEMATICAS DE LOS CUATRO SUBMODELOS.

FIGURA 3



ESTRUCTURA GENERAL DEL MODELO DE TRANSPORTES.

los flujos entre las diferentes zonas del área de estudio y en los medios en virtud del cual los consumidores responden al modificarse las facilidades de transporte disponibles. Finalmente, los estudios locales deben interpretar a los patrones de localización de los flujos de población y servicios, en términos de sus efectos sobre el medio ambiente de una parte limitada del área en estudio.

Al diseñar un modelo de distribución de actividades, se debe poner énfasis en los siguientes aspectos: ser claros con la finalidad para la cual será construido el modelo; elegir adecuadamente las variables; identificar cuales variables son de control (endógenas) y las no controlables (exógenas); verificar que los resultados sean congruentes; definir adecuadamente a la variable tiempo; elegir la técnica más apropiada al construir el modelo.

Existe una variedad muy extensa, en los modelos de distribución espacial de actividades algunos de ellos involucran técnicas específicas, pudiéndose distinguir los siguientes: modelos algebraicos incluyendo casos especiales de interacción espacial, modelos matriciales, modelos de programación lineal, modelos de simulación, modelos econométricos, modelos basados en la teoría económica, modelos ecológicos, modelos basados en la teoría de juegos y finalmente modelos gravitacionales y potenciales.

Modelos sintéticos o generales

Hemos visto que los estudios urbanos y regionáles tienen un cierto grado de dependencia entre sí, y que anteriormente se han enumerado modelos -

parciales que son factibles de aplicarse a sectores particulares. Un modelo sintético o modelo general, es aquel que tiene tantas interdependencias como es posible incorporarle, y su esencia es función del comportamiento de la localización de actividades.

Los principios para construir un modelo sintético son: (1) las componentes del sistema de interés y sus características correspondientes deben ser identificadas; (2) agrupar en subsistemas; (3) definir las variables en relación al espacio y a la agregación temporal y sectorial; (4) los mecanismos de cambio o estructura causal del modelo deben ser conocidos; (5) las ecuaciones del modelo formal en términos de las variables definidas en (3) pueden ser construidas para representar los mecanismos de (4).

El primer modelo general, presentado como ejemplo, es el de Lowry (1964) en el cual las partes de los modelos parciales deben ser sintetizados con una abundante interdependencia de componentes, realizando esta acción a través de una forma muy simple. En el se puede distinguir, en primer lugar la estructura del modelo, consistente de dos modelos de interacción espacial y en segundo término, su estructura lógica la cual se puede expresar por medio de nueve ecuaciones simultáneas y tres desigualdades. Como segundo ejemplo, podemos mencionar al modelo de Penn-Jersey, que resulta ser un modelo general econométrico, cuya esencia reside en un conjunto de ecuaciones estimadas a través de métodos econométricos.

Una nueva clase de modelos generales, son aquellos que están basados en un método particular de análisis, desarrollado en el contexto de la ingeniería

de control. Este grupo de modelos ha sido construido en un lenguaje de computación especial denominado DYNAMO, cuyo principal expositor es J.W. - Forrester. La esencia del modelo es sencilla; las variables del mismo son definidas según las tres siguientes categorías: uniformes, auxiliares y relativas. Las variables uniformes describen el estado del sistema para un mismo tiempo y las variables relativas los cambios en las variables uniformes en el mismo tiempo. Finalmente las variables auxiliares son función de cualquier disponibilidad de las tres variables anteriores.

Por último, dentro de este contexto podemos incluir, modelos que contengan variables demográficas y económicas, denominadas macrodemométricos. - Modelos de esta naturaleza, prácticamente no han sido desarrollados, pero su relación con los modelos econométricos y los demográficos existentes ha sido establecida. Una vez desarrollados éstos, el esfuerzo para integrar un modelo global de crecimiento, es relativamente menor.

4. Conclusiones

Los modelos matemáticos han sido desarrollados simultáneamente y en paralelo, con varios campos cientfficos en los últimos veinte años. Hay mucho de común entre ellos ya que estos intentos han sido elaborados en el marco - de la teoría de Sistemas, aunque en algunos casos, no se ha tenido éxito. - Los fracasos, probablemente se han debido a las peculiaridades y a lo complicado del campo particular para conocer el problema. Esto puede cambiar en el futuro, ya que podemos asegurar que los sistemas generales y los modelos matemáticos en algunas ciencias relativas como la biología, pueden te

ner una fuente muy productiva de nuevas ideas sobre sistemas urbanos y regionales.

Los modelos demográficos se han aplicado en poblaciones humanas a escala urbana y regional y pueden en principio ser aplicadas a cualquier población. También pueden ser usados, para construir modelos más especializados con la población de un campo específico: estudiantes de una universidad, fuerza de trabajo de una industria, etc. En otras palabras, nacimiento, muerte, y migración son procesos universales y los modelos que integran estos elementos tienen un amplio rango de aplicabilidad. En resumen, estos modelos proporcionan un fundamento obvio para extender su aplicación a otros campos tales como: poblaciones de animales, estudios ecológicos y biológicos, etc.

Los procesos en que se apoyan los modelos económicos, son también procesos universales, pero los problemas para extenderlos a otros campos son muy grandes, debido a las dificultades para identificar y medir las variables involucradas y los coeficientes técnicos.

Los modelos de interacción espacial, también tienen un amplio margen de aplicación. Estos modelos han sido sugeridos como fundamento para el sistema de planeación de los recursos hidráulicos, simulando abastecimientos y tratamientos de agua que fluye en puntos interconectados.

La principal conclusión que se desprende de la exposición de este resumen, es la existencia un gran conjunto de modelos para analizar los procesos urbanos y regionales, herramientas muy útiles para los planeadores urbanos

y regionales. Al mismo tiempo, los modelos presentan desventajas, en especial los altos costos de iniciación lo cual ha impedido el uso a gran escala de los modelos disponibles. Parece necesario desarrollar en paralelo los modelos adoptados y los sistemas de datos, haciéndolos más efectivos e integrados. Finalmente, es necesario incrementar el interés para desarrollar investigaciones académicas en estos campos, sobre todo en aquellos que ameriten un análisis específico.

III. BREVE DESCRIPCION DEL USO DEL ANALISIS DE SISTEMAS EN MEXICO

En esta parte del trabajo, se enumeran los principales conceptos que en forma implícita se manejan a través de la aplicación del análisis de sistemas por medio del uso de modelos, describiendo las condicionantes límites y beneficios del uso de las herramientas y métodos disponibles.

Existen grandes limitaciones en los métodos matemáticos actualmente disponibles, y para tal efecto es preciso conocer sus alcances y aprovecharlos en la medida que consideramos los datos por añadir en el modelo aplicado.

Adicionalmente, es de suma importancia establecer las limitantes, pues conociéndolas podremos señalar más adecuadamente las componentes de mayor o menor importancia hasta analizar cuáles factores se pueden representar en nuestro modelo y cuáles no es posible incluir.

Nuestro marco de referencia contiene dos grandes partes; la primera, el estudio por medio de las técnicas de investigación primaria (vgr. los estudios

de distribución espacial, número de poblaciones, etc.) y la segunda, estudios de mayor complejidad analítica de sus componentes, -las relaciones del sistema con su medio ambiente-, y el uso de modelos matemáticos, técnicas conocidas como Ingeniería de Sistemas e Investigación de Operaciones.

A continuación, se presentan algunas técnicas y modelos aplicados a la Planeación del Desarrollo Urbano.

1. Descripción general de algunos modelos aplicados a México

a. Modelo de los costos del desarrollo urbano (Arq. Alvaro Sánchez)

El objetivo del modelo es determinar los costos probables de los servicios urbanos para las diferentes etapas de crecimiento de una ciudad. Se proponen para tal efecto. índices por habitante y por área usada con una distribución porcentual, con base en parámetros que interactúan en el medio urbano. Se incluyen además la cantidad y calidad de las componentes de los servicios urbanos.

El modelo se formula con grados crecientes de refinamiento, iniciándose con una distribución de densidades de población y una probabilidad asociada a la ubicación de estas densidades, la cual está relacionada a las características ecológicas y cuenta con un costo asignado al desarrollo de cada hectárea en función de su densidad y el uso o destino de los predios.

Partiendo del mínimo de restricciones ecológicas para uso urbano, se determinan las áreas disponibles de desarrollo, escogiendo retículas

de una hectárea y asignándoles un uso y una densidad máxima probable; como consecuencia de esta asignación será necesario determinar un - costo por habitante servido o por hectárea usada.

Mediante datos cuantitativos sobre porcentajes destinados a cada tipo de actividad en la estructura urbana, y definido el total de metros cuadrados por habitante y la población total por etapa de crecimiento, se determina su costo de desarrollo en función de los costos asociados - por hectárea.

En la determinación de los costos de desarrollo, es necesario efectuar "Pronósticos de Costos" que serán el resultado de la experiencia adquirida en las primeras contrataciones de obra; como consecuencia se establecen "Normas de Servicios" que son el resultado de parámetros de la demanda.

La operación del modelo, genera matrices de inversión por estado del sistema y por servicio proporcionado, y los pronósticos de costo ajustados, desglosándose las asignaciones en cantidad y calidad de - obra admisible.

Este modelo de costos de Desarrollo Urbano, es una herramienta para determinar las inversiones necesarias en el desarrollo de las ciudades por etapas de crecimiento gradual y además, es un instrumento orientador de decisiones sobre el uso óptimo de un área y su densidad, en función del costo de implementación de cada etapa del desarrollo urbano planeado.

b. Modelo de las regiones polarizadas en la República Mexicana. (Arq. José Ramón Sordo)

El término de espacio y región polarizada o nodal, se basa en las relaciones que existen entre las diversas unidades consideradas. Esta noción, se apoya en la existencia de relaciones recíprocas pero desiguales.

La región polarizada, es por naturaleza un conjunto heterogéneo en el cual las diversas partes presentan un carácter complementario, y mantienen de una manera privilegiada mayor intercambio con un polo que con cualquier otro del mismo orden.

En este trabajo, se afirma que todo análisis de polarización deberá efectuarse a partir de la observación de los flujos interurbanos de comunicación: tales como: movimiento de personas, flujo de automóviles, autobuses, trenes, teléfonos, telégrafos y correos; distribución de periódicos, origen y destino de compradores de bienes y servicios, flujos de dinero, etc. Posteriormente, se establecen diferentes jerarquías con sus respectivos niveles y se llega a establecer la dependencia de los centros urbanos de la República Mexicana con su correspondiente red de dependencia urbana.

Después de un análisis de líneas de autobuses y comunicaciones telefónicas en las diferentes regiones polarizadas, se establecen áreas de influencia y niveles de dependencia con relaciones de población y superficie totales por área de influencia, en porcentaje respecto a la población y superficie nacionales.

Como determinante primaria de este modelo, se detecta la zona de máxima complejidad localizada en el interior del trapecio geométrico formado por las ciudades de Veracruz, Cuernavaca, Guadalajara y Aguascalientes, zona que corresponde a la de mayor densidad de población en la República. A partir de esta zona, las ciudades se localizan en corredores de urbanización convergentes a la ciudad de México en sentido longitudinal a la superficie del país.

El estudio determina que las regiones polarizadas, están basadas en la existencia de la comunicación y el fenómeno de polarización es dinámico y su equilibrio es completamente inestable.

Finalmente se enumeran los factores más incidentes en la polarización de los centros urbanos, tales como: número de habitantes del centro, los medios de comunicación que ligan el centro urbano con la región y ciudades circundantes, características de la población del centro; educación, tradiciones, ingreso, etc., tipo de actividades realizadas y de producción.

Se llega a la conclusión, de que en la República Mexicana existen diferentes niveles de integración regional y que la Ciudad de México, ejerce una influencia predominante sobre toda la nación, además de que existen zonas que a la fecha no han podido integrarse a la vida regional por la falta de medios de comunicación.

c. Delimitación del área de influencia de la Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas, Michoacán. (Lic. Néstor Duch y Dr. Alfonso Torres)

Debido a la fuerte inversión en el complejo siderúrgico Lázaro Cárdenas Las Truchas, se espera una favorable influencia de desarrollo que se extenderá mucho más allá de la circunscripción local de la planta. Debido a que este polo atraerá variadas inversiones, será necesario - delimitar el área de influencia de su desarrollo socioeconómico.

El modelo empleado es del tipo gravimétrico, derivado de la analogía Newtoniana basada en la intensidad de interacción y atracción relativa de dos o más áreas de acción.

Su método se basa conceptualmente, en reconocer una correspondencia entre el intercambio de productos y la influencia que se produce entre - diferentes localidades.

El objetivo de esta técnica, es conocer la capacidad potencial que tiene un punto geográfico para generar intercambio con otros puntos en los - que ya se tienen niveles apreciables de actividad industrial.

La metodología se inicia con el trazo de un polígono geográfico, cuyos vértices son las localidades de Manzanillo, Guadalajara, León, Querétaro, México, D.F., Cuernavaca y Acapulco llevando a cabo una cuadriculación para lograr trabajar en un espacio finito, con una dimensión de seis por cinco kilómetros. Posteriormente, se procedió a calcular la - intensidad de influencia producida por las diez y seis localidades contenidas en nuestra área de estudio, y finalmente en cada punto de la cua-

drícula, se aplica el criterio de la componente máxima y el de las contribuciones marginales llegando a los siguientes resultados:

La ubicación de la Siderúrgica es óptima, delimitándose las áreas de influencia y sus tendencias de crecimiento; con un poco más de elaboración se pueden llegar a trazar mapas de contornos de isoinfluencia, herramienta útil para orientar la inversión en redes viales.

d. Algoritmo para la delimitación de áreas de influencia por el método de la componente máxima. (Act. José Olivares)

En este trabajo, se analiza como los centros de actividad económica al interactuar entre sí, generan una seria de fuerzas que configuran de alguna manera el espacio económico. Una de estas configuraciones es la que definen las áreas de influencia de los centros de actividad económica.

El criterio de la componente máxima permite definir desde un enfoque discreto, cualquier espacio económico, y cual es el área de influencia a la que pertenece dicho punto. Esta técnica fue originada en el concepto de potencial de influencia, ligado a los modelos de tipo gravimétrico.

El método de la componente máxima se fundamenta en el supuesto de que, en todo espacio geográfico, la influencia económica total es equivalente a la suma de las influencias individuales, que son ejercidas en dicho punto por los centros de actividad económica situados en las --

proximidades del punto considerado.

Así, para cualquier punto de un área geográfica, se puede determinar el centro de actividad económica que ejerce la mayor influencia sobre el lugar analizado.

Este método se considera como un algoritmo, debido a que es un juego prescrito de reglas bien definidas para la solución de un problema en un número finito de pasos (Contrastando con los métodos heurísticos).

e. Modelo de distribución de inversiones públicas por sectores y su incidencia en los asentamientos humanos. (En proceso)

El modelo en cuestión, presenta la relación directa entre población y las asignaciones de inversión por sector a nivel regional. Su aplicación sería el medio regulador del crecimiento racional urbano, fijado en las fuentes de inversión sectorial y del desarrollo demográfico, además establece algunas pautas para frenar o motivar el crecimiento de las urbes en función directa del monto de inversión asignado a un espacio geográfico dado.

El modelo cuenta con las siguientes variables: población actual, migración neta, tasa de crecimiento e inversión. La combinación de estas componentes a través del modelo, proporciona resultados que son básicos para fijar políticas de prioridad en determinadas regiones.

Su aplicación está contemplada para cada sector económico, logrando así determinar el índice de actuación de Inversión-Población en la forma más útil y objetiva posible.

El escenario del modelo, es la más adecuada distribución de los asentamientos humanos al promover o desalentar inversiones al final de un horizonte de planeación.

f. Modelo de crecimiento multiregional de la población (Ing. Javier Castro)

El modelo es de tipo descriptivo y normativo, su representación se efectúa a través de una matriz demográfica de crecimiento. La estructura matricial del modelo da una serie de ventajas, permitiendo hacer diferentes alternativas de crecimiento sujetos a diferentes patrones como fecundidad, mortalidad y migración interna. Además permite realizar interrelaciones con modelos económicos.

El modelo demográfico puede estimar la oferta de la fuerza de trabajo y el modelo económico proveer la demanda. Otra ventaja del modelo de crecimiento regional, es la de integrar en forma sistemática los conceptos de crecimiento demográfico y socioeconómico bajo un enfoque "demométrico".

La metodología es descriptiva, cuando va analizando el comportamiento pasado de variables demográficas, puede pronosticar cual será la población, su distribución espacial y por grupos de edad para el año deseado.

Cuando el modelo es utilizado en forma normativa, existen variadas posibilidades, por ejemplo: deseada una distribución espacial, conocer cuales deben ser los requerimientos de inversión sectorial en el tiempo, por cada unidad geográfica, motivando el flujo interregional de la población. De la misma forma se puede conocer cual será la - distribución de la población, dado un programa de inversiones.

2. Problemas que se presentan en la aplicación de modelos en México.

La principal barrera en la implantación de modelos, es la falta de información histórica confiable, aún cuando actualmente se cuenta con técnicas, como el análisis de series de tiempo en donde los conjuntos de datos en un período dado son analizados en cuanto a los principales tipos de fluctuaciones, como tendencias cíclicas, estacionales e irregulares. Otra técnica socorrida es la de correlación, en donde una variable puede ser estimada si el valor de otra es conocida en función del - grado de influencia o repercusión mutua entre dos o más variables.

La aplicación de modelos tienen que ser paulatina, es decir su estructura inicial deberá ser simple y con el tiempo madurar, modificándolo, ampliándolo, calibrándolo y ajustándolo en función de nuevas y periódicas pruebas. Además, se tendrá que tomar en cuenta el resultado de los subproductos derivados del esfuerzo en diseño y construcción de un modelo, pues en ocasiones estimulan hipótesis nuevas aún más importantes que las que nos ofrece un modelo en operación.

Se ha notado, que los modelos de planeación urbana simplifican en for-

ma exagerada la realidad, debido a que contienen datos, inexistentes o poco confiables. La gran concurrencia de variables, sociales, políticas y económicas en los modelos de Planeación Urbana los hacen demasiado complejos, además de implicar las acciones comunes de áreas relativamente independientes que requieren acciones conjuntas.

En muchos modelos se presenta la incertidumbre y por ello, existe cierto escepticismo con respecto a los resultados a mediano y largo plazo que se esperan del funcionamiento operacional del modelo.

El factor de más peso en el éxito de los modelos de Planeación Urbana, será la convicción y el interés continuado del ejecutivo que toma las decisiones, y deberá entender los modelos y no sólo creer en ellos. Para ésto, será necesario seguir analizando un sinnúmero de los mismos, con el objeto de tener bases teóricas reales y objetivas, y plasmarlas en modelos que serán el resultado de las necesidades nacionales logrando así, una distribución adecuada de la población.

3. Conclusiones

Cualquier técnica de planeación o investigación empleada en el desarrollo urbano queda comprendida dentro de un marco general de referencia metodológica. El marco previsto consiste en una secuencia lógica de etapas, tendientes a conocer los problemas incidentes en el desarrollo urbano como un sistema dependiente y posteriormente proponer soluciones a estos problemas por medio de un análisis ordenado, partiendo de la identificación y definición inicial del problema y sus

interacciones, hasta alcanzar en forma integral y con un enfoque sistémico su conocimiento total.

En la aplicación del análisis de sistemas, el valor de los modelos, se basa en el tipo de estructura que presente y, en el caso de los modelos de planeación urbana adquieren una importancia especial pues su formación está integrada por innumerables factores.

En todos los modelos se tendrá en mente el enfoque sistémico, al buscar la armonía entre las distintas partes integrantes, permitiendo así juzgar crítica y oportunamente la bondad de los datos iniciales.

Se considera que lo más importante, es comprender la importancia del enfoque de sistemas en la solución de los problemas urbanos y lograr difundir la necesidad del estudio de esta temática, para resolver con profundidad, con racionalidad y sobre todo, en forma integral los problemas que se están presentando en los desarrollos urbanos.

Todas las conclusiones emanadas de técnicas o modelos de desarrollo urbano, en las que se hace intervenir algunas variables, deberán ser situadas en una teoría global de conjunto, ya que de no ser así, carecerán de un valor integral y de peso específico en la solución de la planeación a nivel urbano, que debe ser integral.

Será necesario, reflexionar sobre la interdependencia que guardan todas las variables y factores que afectan el crecimiento urbano, consi

derando a tal, como un sistema interdisciplinar e interrelacionado.

De aquí surge la necesidad de aplicar el enfoque de sistemas para así, reconocer la naturaleza interdisciplinaria y compleja de los problemas que giran en torno al desarrollo urbano.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

TEMA: EL ENFOQUE SISTEMICO PARA LA PLANEACION DEL DESARROLLO URBANO. PROYECTO "LA LAGUNA"

PROF. ING. JAIME LUNA TRAILL.

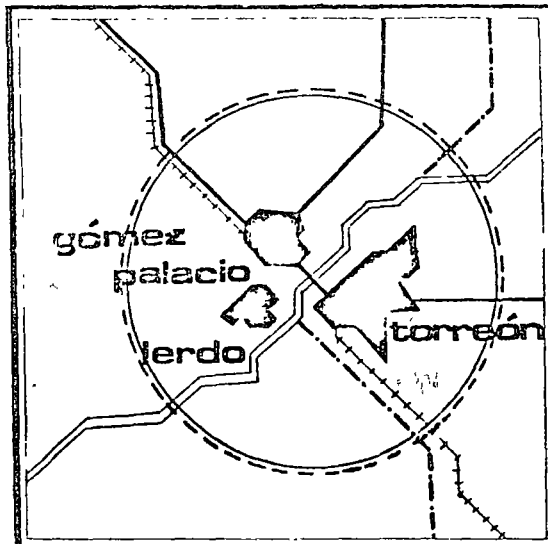
JULIO-SEPTIEMBRE, 1977

Agosto/1977

Atendiendo a la solicitud de algunos participantes al curso "Fundamentos y Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas" en cuanto a la posibilidad de tener algún documento sobre el proyecto "La Laguna" expuesto en dicho curso por el Ing. Ricardo Guerra en la conferencia correspondiente a un servidor, se incluyen las partes a mi juicio más importantes del mencionado proyecto.

A t e n t a m e n t e

ING. JAIME LUNA TRAILL



SAHOP

Subsecretaría de
Asentamientos Humanos

Dirección General
de Planeación Territorial
de Asentamientos Humanos

ZONA CONURBADA DE LA LAGUNA

PLAN DE ORDENACION TERRITORIAL

Análisis y Diagnóstico

1

ANALISIS
Y DIAGNOSTICO

CONTENIDO

PARTE I — ANTECEDENTES

Capítulo 1 — La Zona de Conurbación

Capítulo 2 — Marco legal existente
- Decreto de Conurbación
- Normas Jurídicas
- Delimitación Jurídica de los Planes de Ordenación

Capítulo 3 — La Comisión de Conurbación y sus interrelaciones

PARTE II — INFORMACION BASICA

Capítulo 4 — Delimitación de la zona conurbada
(Referencia Lámina 1)

Capítulo 5 — Importancia de la Región

PARTE III — DIAGNOSTICO

Capítulo 6 — Aspecto Humano
- Población
- Migración
- Ocupación
- Educación

- Nivel de Vida
  - . Alimentación
  - . Salud
  - . Vivienda

(Referencia Láminas 2, 3 y 11)

Capítulo 7 — Actividades Productivas
- Sector agropecuario
- Sector industrial
- Sector comercio y servicios
- Indicadores económicos

(Referencia Láminas 4 y 8)

Capítulo 8 — Infraestructura
- Comunicaciones
- Energéticos
- Hidráulica
- Financiera

(Referencia Láminas 5, 6 y 7)

Capítulo 9 — Conclusiones Generales del Diagnóstico

PARTE IV — APOYO CONCEPTUAL

Capítulo 10 — Concepto del Plan de Ordenación Territorial de los Asentamientos Humanos

(Referencia Láminas 9 y 10)

Capítulo 11 — Sistema de Información

Capítulo 12 — Objetivos Generales del Plan de Ordenación Territorial de los Asentamientos Humanos

....

PARTE V ANEXOS

Anexo 1

Lámina 1. Localización
Lámina 2. Distribución de la Población
Lámina 3. Niveles de Desarrollo
Lámina 4. Uso Actual del Suelo
Lámina 5. Infraestructura
Lámina 6. Distrito de Riego
Lámina 7. Distribución de agua potable
Lámina 8. Uso Actual del Suelo
Lámina 9. Sistema de Ciudades
Lámina 10. Plan Estructural Territorial
Lámina 11. Tendencia natural de crecimiento

Anexo 2

Cuadros Estadísticos

- Población y Ocupación
- Distribución de Población de Localidades
- Migración
- Educación
- Vivienda
- Inversiones

PARTE IV

APOYO CONCEPTUAL

ANALISIS
Y DIAGNOSTICO

CONCEPTO DEL PLAN DE ORDENACION TERRITORIAL DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

10

CAPITULO

Ecosistema

Los asentamientos humanos son a la vez principio generador y resultado de las interacciones regionales entre el medio ambiente natural, las obras e instalaciones que construye el hombre para su uso y la estructura social de la población asentada constituida por tres elementos fundamentales, que son: las actividades desempeñadas, el nivel de desarrollo y el sistema político jurídico administrativo.

La ordenación de los asentamientos humanos en una región supone un equilibrio de relación entre las poblaciones que lo componen, un equilibrio entre los recursos naturales y los insumos que requieren las poblaciones y la capacidad regional para producirlos. Y por último también la capacidad regional para procesar los desechos generados.

Una región que alcanza dicho "orden" puede definirse como "Ecosistema".

El ecosistema supone asimismo, condiciones favorables para alcanzar altos niveles de desarrollo en la mayoría de la población.

Desarrollo Equilibrado del Ecosistema

El equilibrio entre la relación de poblados puede darse cuando los satisfactores de nivel superior, están accesibles a la población ya sea en su propia localidad o, dependiendo del servicio a un recorrido razonable, en otra localidad cercana. Esto conlleva a que la ordenación territorial [illegible] des que participan entre ellas de un satisfactor [illegible]

En la lámina 9 se presenta un concepto teórico de lo que podría con-

formar un sistema. El concepto planteado en la misma lámina de Urbe equivale a la asociación de "n" sistemas, en ella los satisfactores re-- basan el del nivel superior, son servicios de alta especialidad que no ne cesita de manera rutinaria la mayor parte de los habitantes, como es el caso de un centro de convenciones, de un complejo de investigación etc.

Los dos extremos de desequilibrio poblacional, la gran dispersión y la - gran concentración, son igualmente desfavorables, porque en ambos el - costo de los servicios es muy alto y en ambos las condiciones para el desarrollo están en contra de los habitantes; en la población dispersa por falta de oportunidad y en la gran concentración por la enajenación de la población.

Por lo anterior se antoja deseable que la ordenación territorial de los -- asentamientos humanos, parta de sistemas que no caigan ni en uno ni en otro extremo.

El plan estructural Regional

Por otro lado el Plan de Ordenación Territorial de los Asentamientos - - Humanos debe concebirse como un plan estructural regional en donde lo característico es, como su nombre lo indica, proponer la estructura que hace posible una adecuada interrelación entre territorio y gente, es decir, la interacción de los asentamientos humanos. (Ver lámina 10)

El producto terminado de estos planes debe contener:

- Ordenación de las actividades productivas y formativas de la población
- Ordenación del sistema poblacional, de su equipamiento y - sistema de comunicaciones
- Determinación general de los usos destinos, provisiones y - reservas del suelo

. . .

La toma de decisiones en los Planes Estructurales

Las decisiones en los Planes Estructurales están enmarcadas por los sistemas social, físico y económico de una región. Es necesario comprender esto como base para la toma de decisiones. El sistema comprende un conjunto de elementos relacionados entre sí complejamente (inversiones, uso del suelo, redes de transporte, hábitos sociales, estructura - poblacional, etc.). Cambios en un elemento del sistema tendrá efectos en otros elementos del mismo. Pero sólo algunos de ellos pueden ser determinados directamente a través de la implementación de políticas del plan. Estos fundamentalmente están dados por cambios en políticas de uso y desarrollo del suelo que conforman la estructura de la región. Algunos otros cambios están dados independientemente de las decisiones adoptadas en el plan, como niveles de inversión o hábitos sociales.

Variables de diseño

Las variables base del diseño de los modelos, son representativas de los elementos del sistema. Por lo que pueden ser divididas en términos de las tres categorías de cambios a las que están sujetas.

- Variables sujetas a cambios determinados directamente por una política.
- Variables sujetas a cambios determinados independientemente de una política.
- Variables sujetas a cambios como consecuencia de alguna política.

La distinción de estas variables no es rígida y variará de acuerdo a la práctica. Los términos exactos en los que una variable sea definida afectará su status de esta forma. Por ejemplo, existe una relación muy

profunda entre vivienda (como construcción), habitación (como actividad) y habitantes (como unidades de población), pero difieren grandemente - desde el punto de vista de su control por políticas definidas en un plan.

De acuerdo a lo anterior, los dos últimos tipos de variables son los - que tienen mayor interés en sus proyecciones dado que serán las más difíciles de controlar por un plan. Así modelos de cambios indepen - dientes de políticas y modelos de cambios consecuentes de políticas serán aquellos más usados y necesarios en el desarrollo de un plan.

Resultados de los Modelos

Los resultados obtenidos de la proyección de variables por un modelo - no indicarán por ellos mismos las decisiones que deberán ser tomadas- sino que deberán incrementar el conocimiento y entendimiento del sistema para facilitar la toma de decisiones; reducirán el área de desconocimiento alrededor de la cual una decisión será tomada, ya sea mediante la provisión de información de un tipo que sería obtenible fácilmente o- indicando la probabilidad asociada al suceso de un hecho.

Debe ser notado que los resultados de un modelo de predicción son únicamente estimaciones de eventos futuros; que es muy probable que no - sean correctos; que su uso en la elaboración de un plan debe incluir un sistema de control continuo para segurar que las políticas basadas en - sus resultados permanezcan válidas y que modelos de predicción elaborados con datos no confiables, no aplicados correctamente a la elaboración de políticas y su evaluación y no mantenidos bajo control, serán causa- muy probable de la invalidez de un plan estructural.

No se sugiere ningún modelo matemático en especial; tampoco se implica que el trabajo de obtención de proyecciones necesarios para la elaboración de planes estructurales tiene que ser hecho únicamente a través- de modelos matemáticos.

Evaluación de Modelos

Los modelos tienen grandes ventajas de aplicación a la metodología de realización de planes estructurales. También tienen grandes desventajas, pero dado que existen pocos elementos de juicio por falta de desarrollo en nuestro medio de esta herramienta, es bastante difícil hacer una evaluación acertada acerca de la utilidad de éstos como métodos de predicción. Además, la evaluación de un modelo particular no puede ser disociada de las causas específicas para las que dicho modelo fue diseñado. Un modelo puede ser muy útil para un propósito pero no para otro semejante.

La decisión acerca del uso de un modelo tiene que estar por lo tanto relacionada a las individuales necesidades, requerimientos y recursos existentes. Requerimientos en términos de cantidad y calidad de la información necesaria para efectos de predicción en la elaboración de un plan estructural y recursos en términos de experiencia, dinero, equipo y tiempo para su diseño, calibración y operación.

Existen modelos relativos a diferentes campos manejados por la Investigación de Operaciones. Desde el punto de vista de su uso en la Planificación pueden ser agrupados bajo cinco rubros:

a) Modelos de Población

b) Modelos de Demanda de Actividades

c) [illegible]

d) Modelos de Transportación

e) Modelos Socioeconómicos

En éstos quedan distribuidos la gran mayoría de modelos que satisfacen ciertas necesidades en la planificación a cualquier nivel.- Nacional, Regional y Urbana.

MODELO DE ORDENAMIENTO POBLACIONAL

Diseño del Modelo

Existen ocho características básicas desarrolladas mediante las cuales un modelo debe ser diseñado. Estas ligan entre sí las relaciones del modelo, la información, recursos necesarios para su operación, resultados esperados, etc. Es siguiendo este criterio como se explica el modelo teórico de ordenamiento poblacional que aquí se propone.

Debe considerarse que este modelo está aún en etapa de diseño y que ni con mucho puede ser operacional por el momento, por lo que en algunas de sus partes se notarán lagunas o fallas. Aún cuando el concepto teórico que lo apoya séa válido, su desarrollo no es todavía satisfactorio.

Estas características son:

a) La TEORIA en la que se ha basado

b) La forma de la ECUACION en que es expresado

c) [illegible]

d) El nivel de AGREGACION o grado de detalle a que funciona

e) El método de tratamiento del TIEMPO que tiene interconstruido

f) Los RESULTADOS que se obtienen de él

g) Los REQUERIMIENTOS de información que necesita

h) Las SUPOSICIONES que tiene implícitas en su uso

Estas características del modelo tienen que ser entendidas de manera que pueda ser definido si está de acuerdo a los recursos y requerimientos de su aplicación.

Al representar la realidad, el modelo emplea teorías expresando la manera en que las variables están supuestamente interrelacionadas.

Todos los modelos son diseñados conforme a las relaciones de variables, por lo tanto todos los modelos están basados en una teoría. Por otro lado toda variable tiene intrínsecamente asignadas tres propiedades diferentes. Una propiedad de tiempo, propiedad de espacio y propiedad de causa o materia.

Teoría del Modelo

La teoría en la que un modelo se basa, está relacionada a alguna o algunas de estas tres propiedades de las variables. Modelos basados en teorías de relación, en las que la propiedad de las variables es la causa o materia son las más comunes; por ejemplo, la relación de la densidad de población en función de la productividad industrial. Relaciones en las que diferentes escalas de espacio son usadas, por ejemplo las proyecciones de población locales están en función de la regional. Las [illegible] de valores al futuro, éstas en función de las anteriores, son ejemplo de la propiedad de tiempo. De igual modo existen aquellos en los que se combinan diferentes propiedades siendo éstos evidentemente más complejos.

...

En este caso el modelo cumple con la propiedad casual y con la propiedad espacial de las variables que usa. . El número de habitantes a nivel regional y local, los servicios que estos requieren y las interrelaciones entre ellos son fundamentalmente su estructura.

De acuerdo a la experiencia y a ciertas investigaciones empíricas se han determinado ciertos rangos óptimos para diferentes niveles de localidades. Estos rangos están determinados por la población total de cada localidad y por los servicios que sus habitantes requieren.

La división de los asentamientos con respecto a su población total está dada por los niveles siguientes*:

---

* Ver gráficas adjuntas.

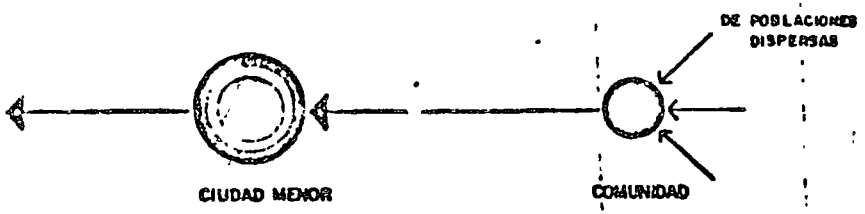
...

COMUNIDAD

II

HABITANTES	
MINIMO	500
OPTIMO	1000
MAXIMO	3000

II I



SATISFACTORES

- AGUA POTABLE - HIDRANTE
- TIENDA
- CASA DE SALUD
- FOSAS SEPTICAS - CONTROL DE DESECHOS
- RELLENO SANITARIO - CONTROL DE BASURA
- CEMENTERIO
- ENERGIA ELECTRICA

CIVICOS

- JUEGOS LLANEROS
- PLAZA PUBLICA
- CINE AMBULANTE
- ESCUELA PRIMARIA COMPLETA
- JARDIN DE NIÑOS
- BIBLIOTECA PUBLICA EN LA ESCUELA

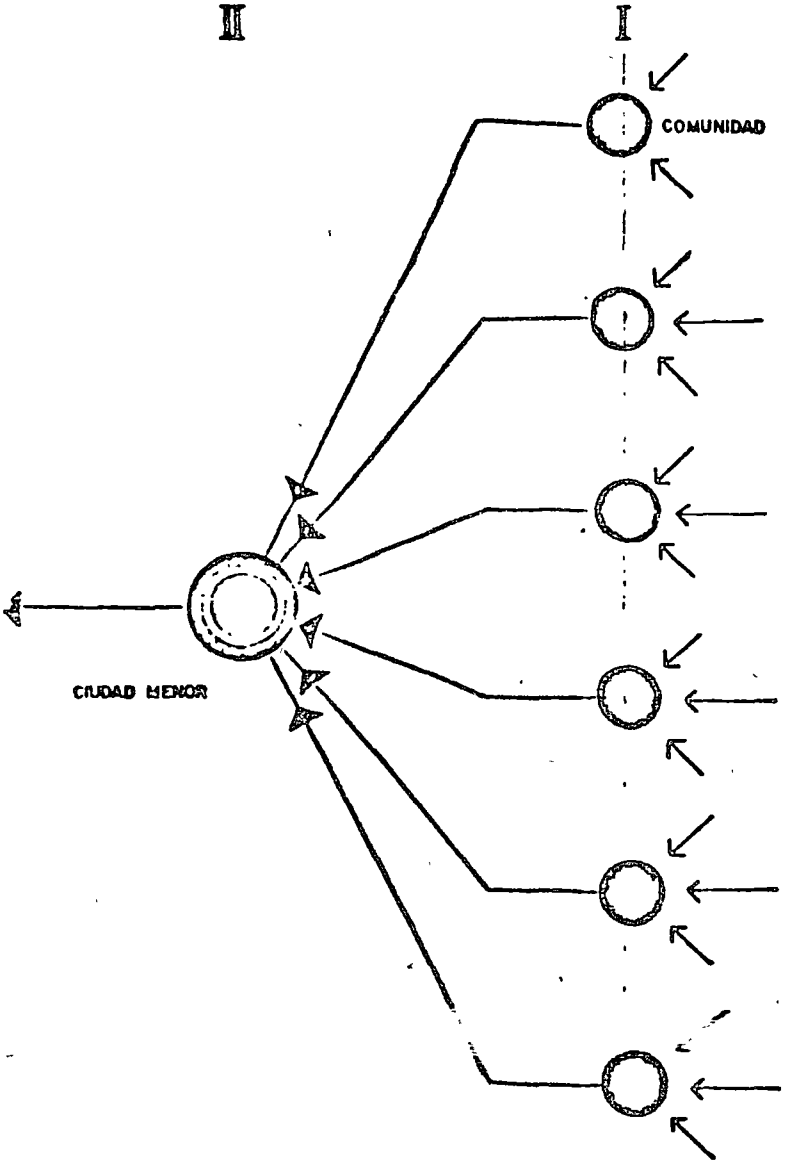
COMUNICACION

- POR BRECHA O TERRACERIA A CIUDAD MENOR
- RADIO

C.D. MENOR

A B I T A N T E S	
I N I M O	3000
P T I M O	6000
L A X I M O	12000

III



S A T I S F A C T O R

- AGUA POTABLE INTRADOMICILIARIA CUOTA
- PEQUEÑO MERCADO TIANGUIS
- FARMACIA
- CENTRO DE SALUD RURAL
- CONTROL DE DESECHOS - DRENAJE
- CONTROL DE BASURAS-RELLENO SANITARIO
- **RASTRO**
- **CEMENTERIO**
- ENERGIA ELECTRICA
- AGENCIA BANCARIA

D E S A R R O L L A D O R

- CANCHA DEPORTIVA
- PLAZA PUBLICA
- CINE - T.V.
- **RESTAURANT PEQUEÑO**
- ESCUELA PRIMARIA COMPLETA
- JARDIN DE NIÑOS
- BIBLIOTECA PUBLICA EN LA ESCUELA
- ESCUELA SECUNDARIA O EQUIVALENTE

C O M U N I C A C I O N

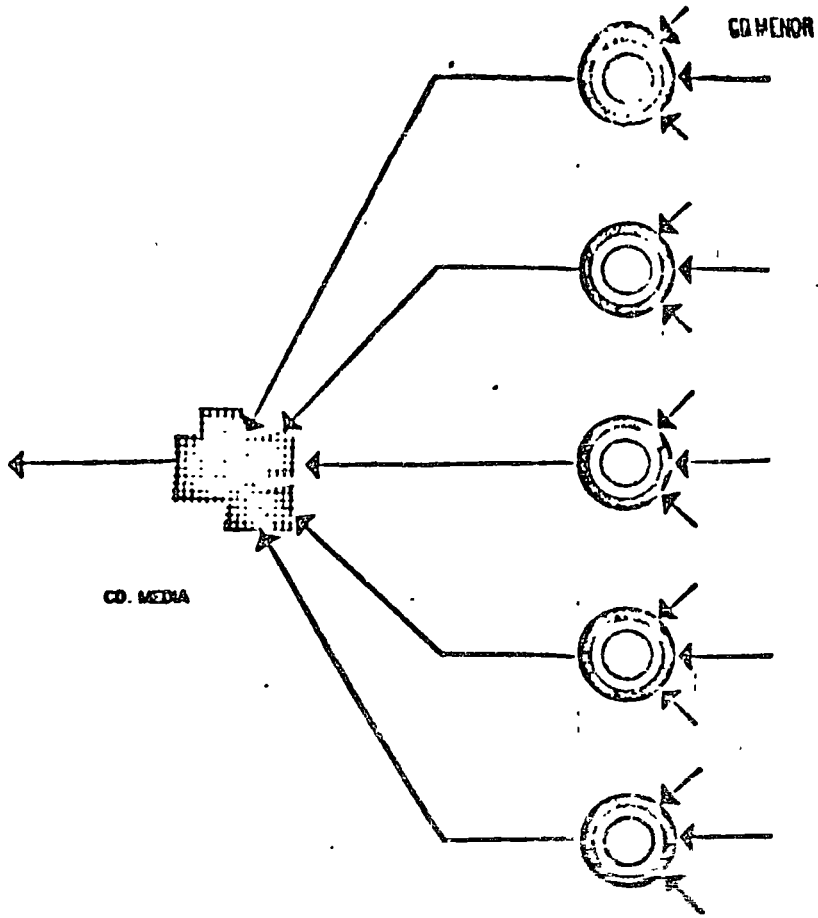
- A CIUDAD MEDIA POR CAMINO VECINAL PAVIMENTADO
- A COMUNIDAD POR BRECHA O TERRACERIA
- [illegible]
- [illegible]
- CORREO TELEGRAFO
- CASETA TELEFONICA

C D. MEDIA

H A B I T A N T E S	
M I N I M O	6000
O P T I M O	30000
M A X I M O	60000

III

II



- AGUA POTABLE INTRADOMICILIARIA MEDIDOR
- MERCADO MUNICIPAL · CALLE COMERCIAL
- FARMACIAS
- CENTRO DE SALUD URBANO
- CONTROL DE DESECHOS · DRENAJE
- CONTROL DE BASURA · RELLENO SANITARIO
- RASTRO
- CEMENTERIO

- ENERGIA ELECTRICA
- AGENCIAS BANCARIAS
- OFICINAS ADMINISTRATIVAS LOCAS
- BOMBEROS

- ZONA DEPORTIVA
- PLAZA PUBLICA
- CINE T.V
- CENTRO SOCIAL
- RESTAURANT
- ESPARCIMIENTO NOCTURNO

- ESCUELAS PRIMARIAS
- JARDIN DE NIÑOS
- ESCUELAS SECUNDARIAS O EQUIVALENTES
- ESCUELA PREPARATORIA O EQUIVALENTE
- BIBLIOTECA

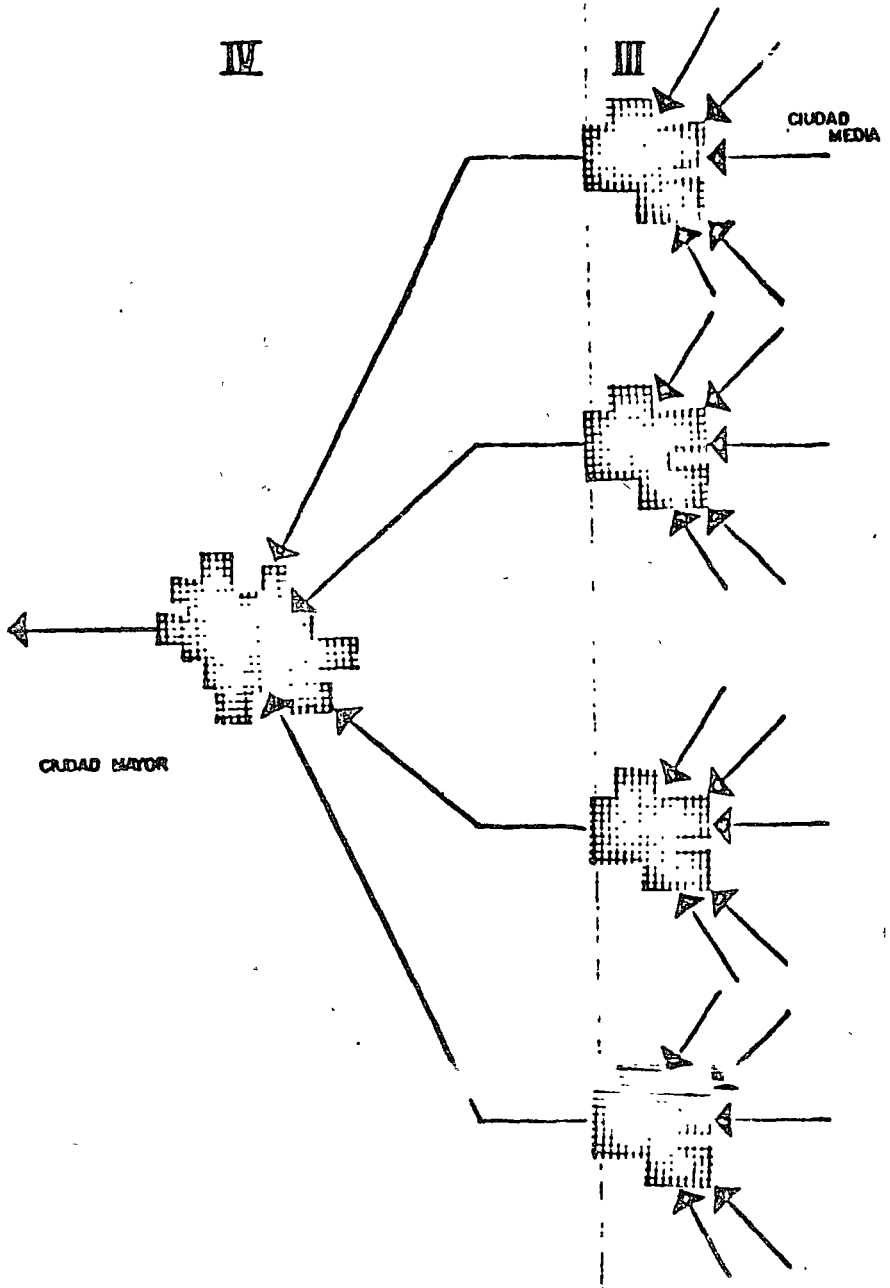
- A CIUDAD MAYOR POR CARRETERA PAVIMENTADA
- A CIUDADES MENORES POR CAMINO VECINAL PAVIMENTADO
- CENTRAL TELEFONICA
- AEREOPISTA

C D. MAYOR

H A B I T A N T E S

M I N I M O	0 0 0 0 0
O P T I M O	1 2 0 0 0 0
M A X I M O	2 4 0 0 0 0

IV



- AGUA POTABLE INTRADOMICILIARIA MEDIDOR
- CENTRO COMERCIAL
- HOSPITAL REGIONAL
- CONTROL DE DESECHOS, DRENAJE
- RASTRO
- CONTROL DE BASURAS
- CEMENTERIO

- ENERGIA ELECTRICA
- SUCURSALES BANCARIAS
- OFICINAS ADMINISTRATIVAS LOCALES
- OFICINAS ADMINISTRATIVAS REGIONALES
- BOMBEROS

- CONJUNTOS DEPORTIVOS
- CLUBES DEPORTIVOS
- PLAZAS PUBLICAS
- CENTROS SOCIALES
- TELEVISION Y RADIO. REPETIDORAS
- CINE, TEATRO, ESTUDIO
- RESTAURANTES
- CENTROS NOCTURNOS

- ESCUELAS PRIMARIAS
- ESCUELAS SECUNDARIAS
- ESCUELAS PREPARATORIAS
- ESCUELAS TECNOLOGICAS
- CARRERAS CORTAS
- BIBLIOTECA
- MUSEO REGIONAL
- LOCALES DE CONFERENCIAS

- A METROPOLI POR CARRETERA TRONCAL
- A CIUDAD MEDIA POR CARRETERA PAVIMENTADA
- RADIO, CORREO, TELEGRAFO
- CENTRAL TELEFONICA AUTOMATICA
- TERMINAL DE AUTOBUSES FORANEOS
- CAMINOS URBANOS

METROPOLI

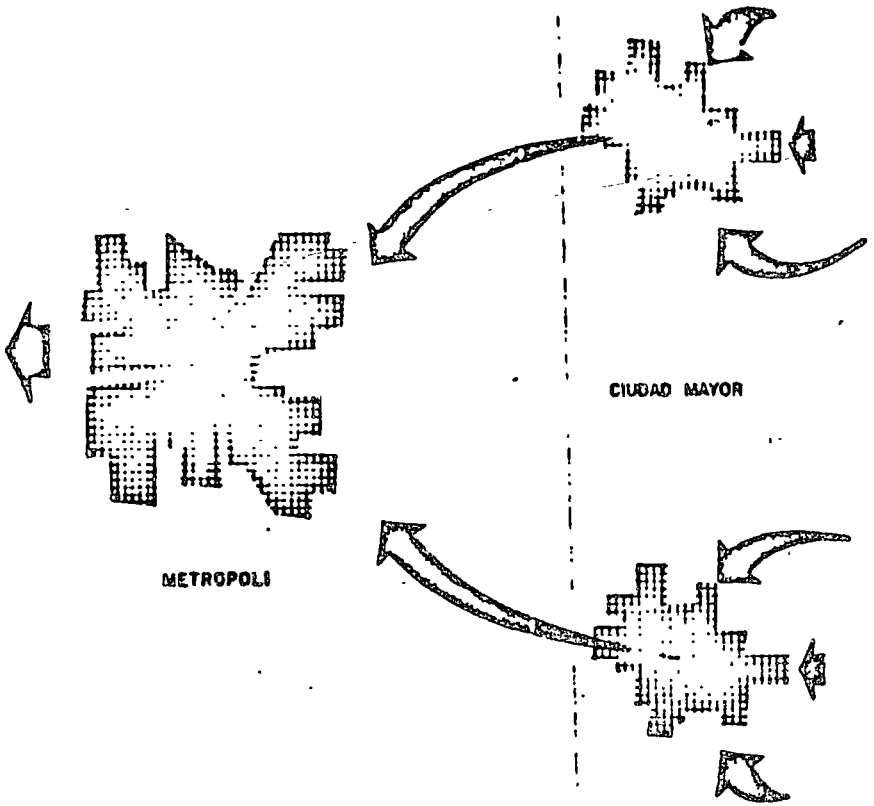
HABITANTES

MINIMO	240 000
OPTIMO	360 000
MAXIMO	1 000 000

V

VI

IV



- AGUA POTABLE INTRADOMICILIARIA MEDIDOR
- CONJUNTOS COMERCIALES
- HOSPITAL GENERAL
- CONTROL DE DESECHOS-DRENAJE
- REUTILIZACION DEL AGUA
- CONTROL DE BASURAS-RELLENO SANITARIO
- RASTROS
- CEMENTERIO

- ENERGIA ELECTRICA
- SUCURSALES BANCARIAS
- OFICINAS ADMINISTRATIVAS LOCALES
- OFICINAS ADMINISTRATIVAS REGIONALES
- AGRUPACIONES ECONOMICAS
- BOMBEROS

- CONJUNTOS DEPORTIVOS
- CLUB DEPORTIVO
- PLAZAS PUBLICAS
- CENTROS SOCIALES
- CINES-TEATROS RESTAURANTES-ESTADIOS
- ESPECTACULOS A NIVEL PROFESIONAL
- VIDA NOCTURNA VARIADA
- T.V. - RADIO - ESTACIONES VARIADAS

- ESCUELAS PRIMARIAS
- SECUNDARIAS
- PREPARATORIA
- INSTITUTOS TECNOLOGICOS
- UNIVERSIDAD
- BIBLIOTECAS
- MUSEO Y EXPOSICIONES
- SALAS DE CONFERENCIAS

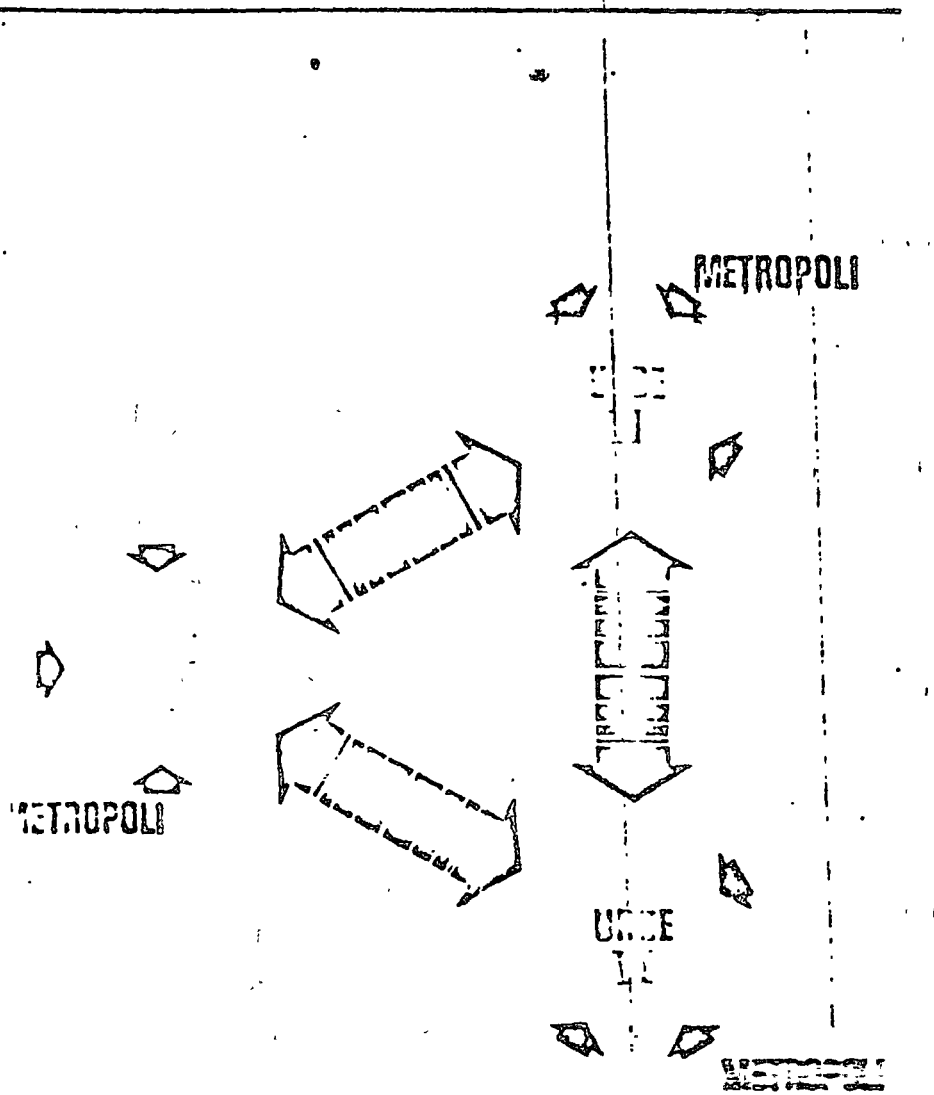
- A URBE O MACROURBE POR SUPERCARRETERA
- A CIUDAD MAYOR POR CARRETERAS TRONCALES
- AEROPUERTO NACIONAL
- RADIO-CORREO-TELEGRAFO-TELEX
- CENTRAL TELEFONICA
- CENTRAL CAMIONERA

U R B E

H A B I T A N T E S

M I N I M O	
O P T I M O	1 0 0 0 0 0 0
M A X I M O	

VI



S A T I S F A C T O R E S

B á s i c o s - r e g i o n a l e s

- AGUA POTABLE INTRADOMICILIARIA-MEDIDOR
- COMPLEJOS COMERCIALES
- HOSPITAL DE ESPECIALIDADES
- CONTROL DE DESECHOS DRENAJE
- REUTILIZACION DEL AGUA
- CONTROL DE BASURAS-PLANTAS DE PROCESO
- RASTROS
- CENTRALES DE ABASTOS
- CEMENTERIOS
- ENERGIA ELECTRICA
- HIDROCARBUROS EN GENERAL
- MATRICES BANCARIAS
- MATRICES FINANCIERAS
- CENTRALES ADMINISTRATIVAS
- CONSORCIOS ECONOMICOS
- BOMBEROS POLICIA ETC.

C o m p l e m e n t a r i o

- CONJUNTOS DEPORTIVOS
- CLUBES DEPORTIVOS
- PLAZAS Y JARDINES PUBLICOS
- CENTROS SOCIALES
- TV.-RADIO ESTACIONES TRASMISORAS
- CINES TEATROS RESTAURANTES
- SUPER ESPECTACULOS-ESTADIOS
- ESCUELAS PRIMARIAS
- SECUNDARIAS
- PREPARATORIAS
- TECNOLOGICOS
- UNIVERSIDADES
- CENTROS DE INVESTIGACION
- BIBLIOTECAS
- MUSEOS
- CONJUNTOS CULTURALES
- CENTROS DE CONVENCIONES

I n t r e u r b e

- A OTRA URBE POR SUPERCARRETERAS
- [illegible]
- SISTEMAS DE TRANPORTE URBANO MASIVO
- FERROCARRIL
- TERMINALES CAMIONERAS
- AEROPUERTO NACIONAL E INTERNACIONAL
- CENTRALES TELEFONICAS
- RADIO-CORREOS-TELEGRAFOS-TELEX
- CENTROS TRONCALES DE TRANSPORTE NACIONAL E INTERNACIONAL

a)	Localidad	Población sumamente dispersa ubicada en asentamientos humanos de menos de 500 habitantes. Deben de evitarse.
b)	Comunidad	Aquellos asentamientos que cuentan con ciertos servicios y que sirven como centros de influencia a las localidades. Tienen entre 500 y 3000 habitantes, siendo 1000 habitantes el número supuesto como más adecuado.
c)	Ciudad Menor	Son aquellas que cuentan con servicios más evolucionados que las anteriores y por tanto sirven como centros de relación de las comunidades. Tienen de 3000 a 12 000 habitantes y su nivel más adecuado es de 6000 habs.
d)	Ciudad Media	Estas son los centros microrregionales de influencia hacia los niveles inferiores. La evolución de sus servicios es mayor y el número óptimo de habitantes es de 30 000 en un rango de 6 000 a 60 000.
e)	Ciudad Mayor	Centros regionales de influencia, buena dotación de servicios y su nivel óptimo se encuentra en 120 000 habitantes; el rango de variación es de 60 000 a 240 000 habitantes.
f)	Metrópoli	Núcleos metropolitanos, puntos de contacto a nivel interregional, centros de expansión y de influencia muy importantes. Se le supone como el asentamiento humano ideal por los ni

...

veles de servicios y sus facilidades de control y desarrollo, el número óptimo de habitantes- es del orden de los 360 000 pero varía de - 240 000 a 1 000 000.

g) Urbe

Este es el centro de atracción e influencia a - nivel nacional, relaciona el funcionamiento de las Metrópolis y sus áreas de influencia, es - el centro cosmopolita por exelencia dotado de servicios muy sofisticados, supone ciertos pro blemas en su control y desarrollo, su pobla - ción es de 1 000 000 de habitantes o más.

Ponderación de Servicios

Los servicios de igual manera han sido ponderados de modo que se relacionen con los niveles de población propuestos. Su ubicación por ramas responde a la posibilidad de una evaluación más efectiva. Así se les ha clasificado como: básicos, intermedios, educativos, de esparcimiento y por último se ha agrupado al sistema de comunicaciones. Evidente - mente que dependiendo del nivel que sea considerado será el tipo de servicio que se asigne a cada asentamiento. Los servicios se han agrupado bajo diferentes rubros de identificación compatibles con el sistema de codificación cartográfica usado (cartas uso del suelo CETENAL 1:50000) éstos están referidos en el cuadro 1 adjunto.

...

CUADRO 1 SERVICIOS EN LA POBLACION

1. ABASTECIMIENTO DE AGUA

a) Manantial
b) Río
c) Lago o Laguna
d) Bordo
e) Presa
f) Pozo
g) Poza

2. MEDIO DE ALMACENAMIENTO

a) Aljibe
b) Tanque Elevado
c) Caja de Agua

3. FORMA DE DISTRIBUCION

a) Tubería
b) Canal
c) Vehículo Motorizado
d) Tracción Animal
e) Humano

4. DRENAJE

a) Emisor
b) Fosa Séptica
c) Fosa

(CLAVE) NO ESTA EN SERVICIO

5. ASISTENCIAL

a) Hospital
b) Clínica

6. MUNICIPAL

a) Rastro
c) Cementerio

7. EDUCACIONAL

a) Preprimaria
b) Primaria
c) Secundaria
d) Preparatoria
e) Normal
f) Enseñanza Técnica
g) Enseñanza Superior

8. CORRIENTE ELECTRICA

a) Por Línea
b) Planta Propia
c)

9. COMUNICACIONES

a) Correo
b) Telégrafo
c) Teléfono
d) Radio Comunicación
e) Radio Difusora

En los párrafos anteriores han sido analizadas someramente las variables consideradas; ahora se verán los elementos de cohesión y relación que darán la estructura general del modelo.

Estructura de relación

De acuerdo a las relaciones de niveles y servicios, se encuentra que la estructura de relación es una estructura de árbol en la que las relaciones de niveles guardan un sistema de reglas que suponemos se cumplen hasta cierto punto en el mundo real.

1) Todo nivel inferior está contenido en el inmediato superior de su misma rama.

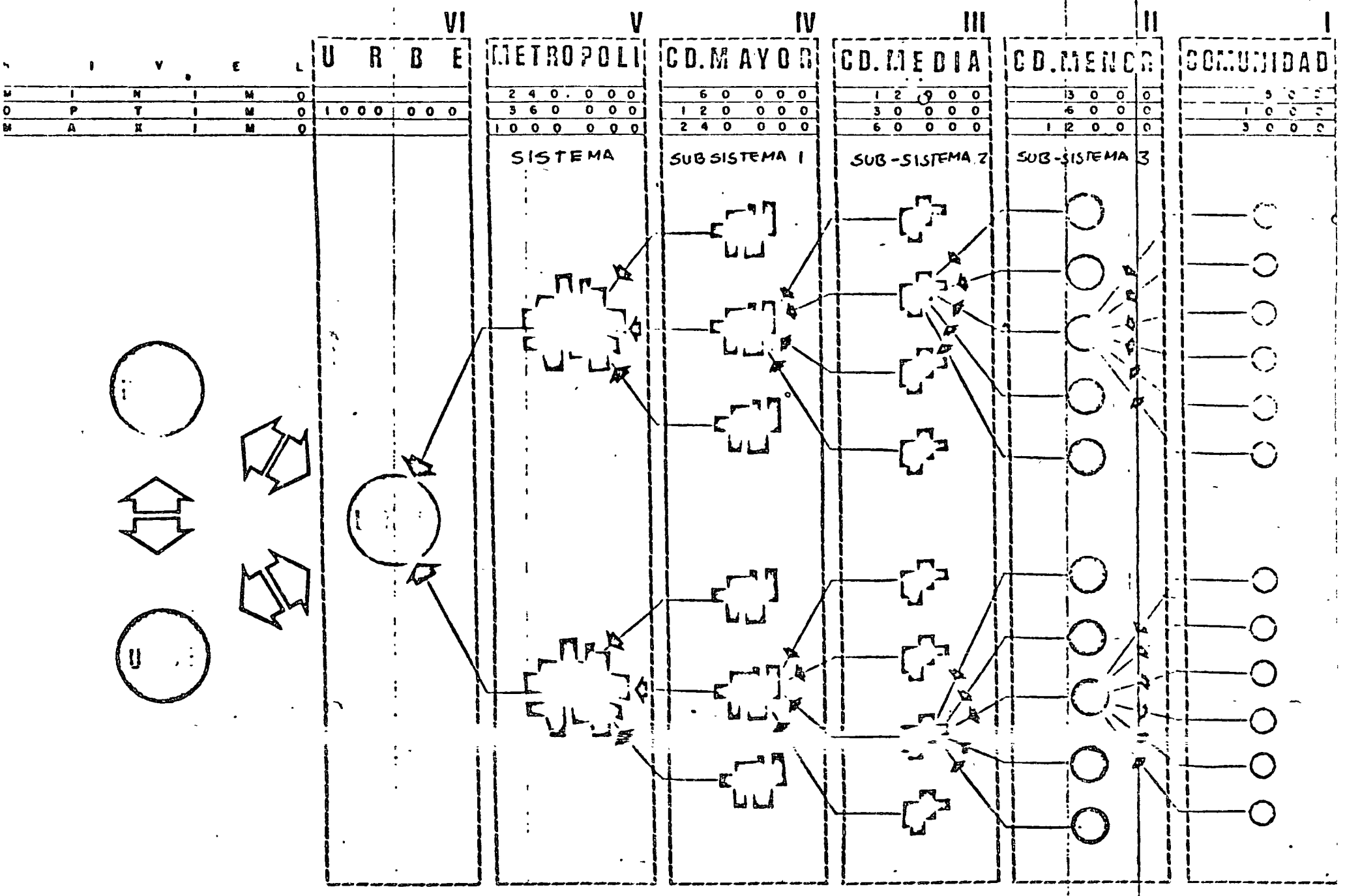
2) La unión de todos los elementos de un nivel en una rama de el valor del nivel inmediato superior.

3) No se presentan intersecciones entre elementos del mismo nivel. (Ver gráfica adjunta)

En esta estructura de árbol quedan definidos los niveles y su competencia como está demostrado en la gráfica.

SISTEMA DE CIUDADES

ESTRUCTURA DE RELACIONES DE LA POLITICA POBLACIONAL



Estructura del Modelo

El conocer las relaciones entre cada uno de los elementos de un nivel y los elementos del nivel inferior que les correspondan es precisamente el objeto de este modelo.

En términos generales podemos decir que el modelo asocia a puntos que tienen una característica determinada a aquellos que no la tienen. Tomando en consideración limitantes de la infraestructura y geomorfología en una región dada. Requiere de la definición de áreas homogéneas, mismas que quedan determinadas por la estructura de localización geográfica.

La dependencia de una localidad con respecto a otra en función de una característica determinada es precisamente el elemento de la estructura en la que se desenvuelven. Es evidente que a cada característica que se considere se encuentra asociada una estructura de relaciones entre dos o más localidades. Por esta razón si el análisis de las ligas entre localidades se hace de acuerdo a una sola característica, únicamente se tendrá una sola estructura de relación correspondiente y en el dominio del espacio al que dicha característica pertenece (económico, físico, social, político, etc.).

A cada característica corresponde una estructura en el espacio de dominio correspondiente. Puede existir dependencia de una población con respecto a otra en función de dos o más características que a su vez pueden estar en el dominio de dos o más espacios, por lo que la definición última de un sistema regional será señalada por la conjunción de todos los sistemas estructurales de relación generados por cada [illegible] características consideradas.

Estructura Regional

Si analizamos la estructura regional generada con respecto a una característica ésta está determinada por el potencial esperado en una locali-

...

dad con respecto a otra de la influencia que ésta localidad va a ejercer debido a la existencia de tal característica en ella. El potencial está definido por la relación que existe entre la masa de tal población y la distancia que las separa a ambas, multiplicadas por una variable binaria (H) ésta sólo puede tomar un valor igual a uno si la característica existe en dicho punto o cero si no existe; así tenemos que el potencial esperado en una población con respecto a una característica está dado por:

$$V_{ph} \quad \begin{matrix} n=v \\ h=1 \end{matrix} = \sum_{i=1}^{i=n.} SH \frac{(Mi+Vphi)}{d_{ip}^{b}}$$

donde:

Vph= Potencial esperado en (p) con respecto a la característica (h)

i= Punto de relación con (p)

S= Constante de calibración

H= Indicador de existencia de la característica [illegible]

...

Mi= Masa en el punto (i)

Vphi= Potencial esperado en (p) con respecto a (i)

dip= Distancia entre (i) y (p)

b= Constante de calibración

v= Número de Características consideradas.

Por lo que el potencial total esperado en (p) será igual a la suma de - los potenciales parciales con respecto a las diferentes características - (Vph) así tenemos que:

$$\underset{p=1}{\overset{p=n}{VTp}} = \sum_{h=1}^{h=v} \left[\sum_{i=1}^{i=n} SH \frac{(Mi + VTpi)}{d_{ip}^{b}} \right]$$

donde:

VTp= Potencial Total esperado en (p) con respecto a (v) características.

n= Número total de puntos a calcular

h= Características en cuestión.

(S) y (b)= Constantes de calibración determinadas estadísticamente.

...

H= Variable que indica la existencia o no de la característica en cuestión, sólo puede valer uno o cero

Mi= Masa en el punto (i)

VTpi= Potencial total esperado en (p) con respecto a (i)

dip= Distancia entre (i) y (p)

Operación del Modelo

La operación de este modelo es iterativa y cada vez que se corre se determina un conjunto (v) de características (h) que están directamente relacionadas al nivel del sistema que se pretende de acuerdo a la clasificación que se vio al principio de este capítulo. Así si se corre a nivel 1 las características estarán referidas al nivel de comunidad, si se corre al nivel 6 éstas estarán referidas al nivel de Metrópoli, y de estos diversos conjuntos de características dependerá al final la estructura regional obtenida, los niveles de agregación en un modelo son sumamente variables dependiendo de sus necesidades de información y de la escala a la que se trabaje, éstas están relacionadas en término del número de zonas y categorías de las variables usadas.

Así los puntos:

(i) y (p) pueden estar determinados por puntos en el espacio por celdas de la retícula del sistema de información o por localidades enteras.

La agregación es una de las características claves de un modelo pues relaciona a la teoría y la operación del modelo y éste es gobernado por la existencia de datos de entrada y de la forma deseada de los datos de salida.

...

Nivel de Información

Los requerimientos de información estarán determinados por: el conjunto de variables usadas en cada iteración, la localización geográfica de los puntos usados, la masa de cada uno de ellos y los puntos obligados de paso generados entre diferentes áreas homogéneas. Las constantes de calibración estarán determinadas estadísticamente.

Calibracion

Un modelo debe ser calibrado y probado antes de ser usado. La ecuación permanece constante pero existen grandes diferencias en los datos de entrada. En esta etapa de calibración los valores de las constantes son dados de manera que el modelo iguale alguna situación conocida de la mejor manera.

Hipótesis del Modelo

Los supuestos que el modelo considera como válidos son:

- Las diferentes categorías de ciudades definidas por número de habitantes tienen los servicios asignados por el modelo de acuerdo al conjunto de características usado en dicha iteración.

- Hay una gran correlación entre el número de habitantes y los servicios propuestos.

  La relación entre los elementos de un mismo nivel se da únicamente con la existencia de una vía de comunicación.

- Los elementos en áreas homogéneas tienen relación espacial [illegible] directa cuando hay una vía de comunicación.

Conclusiones

Considerando todo lo anteriormente expuesto, el modelo puede funcionar adecuadamente y de él obtener resultados satisfactorios factibles de utilización en la generación de políticas generales de desarrollo regional.

...

Por ahora este modelo es únicamente el producto de un análisis de relaciones el cual no está probado ni calibrado, por lo que en su fórmula general y en su operación será factible de cambios que en un momento dado pueden ser sustanciales en su maduración.

Por otro lado tenemos que los resultados que el modelo antes mencionado nos ofrece, están relacionados íntimamente con la estructura regional exclusivamente sin considerar ciertos recursos naturales que es necesario incluirlos para lograr una implementación real de las políticas diseñadas para tal problema. Es por esta razón que se ha pensado que este modelo trabaje en combinación con otro (Modelo de Potenciales de Desarrollo), el cual tenga la capacidad de analizar el potencial de desarrollo de cada una de las áreas de influencia generadas por el modelo anterior.

Para lograr este análisis se considera que este segundo modelo tendrá que ser alimentado fundamentalmente por el sistema de información que sea diseñado para la región problema. (Capítulo 11)

Con la combinación de ambos modelos se podrá llegar a conclusiones más adecuadas y tener un mayor número de armas para poder determinar las políticas idóneas y tomar las decisiones más favorables.

ANALISIS
Y DIAGNOSTICO

SISTEMA DE INFORMACION

11

CAPITULO

Importancia de la - Información

Uno de los elementos más importantes para la planeación estructural es sin lugar a duda el recabar la información actual existente del -- argumento en cuestión, ya que es fundamental para diagnosticar su - situación y, con base en dicho diagnóstico, generar alternativas de - solución.

Por otra parte, de acuerdo a las teorías modernas de planificación, es generalmente aceptado que un plan estructural tiene que ser diná mico y variar de acuerdo a los cambios que la región experimenta - a través del tiempo.

Esta situación requiere por una parte una base de datos bien organizada para que en un momento dado se puedan tomar decisiones de -- acuerdo a la información obtenida y por otra que sea actualizada cons tantemente para satisfacer los requerimientos de retroalimentación que la planeación supone.

De aquí la necesidad de diseñar un sistema de información que cumpla todas estas funciones, que sea accesible, rápido y de fácil manejo para el planificador y el político, para el analista y los organismos regionales de decisión.

Definición de la Región

Evidentemente la definición de una región en estudio es elemento fundamental para la generación del banco de datos, pues la información tendrá que estar relacionada íntimamente con el espacio geográfico.

En el caso de la Comarca Lagunera, la región está definida especialmente por la producción agrícola y ganadera que tiene relación directa con la zona urbana de la conurbación GP-T-L. Esta zona de influencia no está definida por ningún tipo de límite administrativo como serían los municipios o los Estados involucrados en la región. Es por esto que su definición será diferente de acuerdo al criterio de relación que se utilice. Sin embargo, es indudable que también existirá cierta semejanza entre los límites generados por los diferentes criterios de relación. Esta razón es la que conduce a delimitar la región de una manera aproximada, sin sujetarse a un solo criterio específico, de acuerdo a la zona de producción agropecuaria o a las relaciones comerciales directas o a los flujos de mercancías, etc.

De este modo se ha pensado en establecer como región de estudio el área determinada por ciertas coordenadas geográficas directamente relacionadas con la red geodésica nacional, suponiendo que dentro de este espacio se darán la mayoría de los límites específicos de acuerdo a los criterios de relación seleccionados para cada caso.

Este sistema de definición regional facilita enormemente la creación de un sistema de información espacial, pues no permite que exista la incompatibilidad de las referencias espaciales de información, que estarían dadas por la obtención de datos relacionados a municipios, distritos de riego, parcelas etc., y que en un momento dado no sería posible combinar para obtener determinados análisis y resultados.

Agregación de la Información

La subdivisión de esta región en una retícula cuadrada modular nos permite tener diferentes niveles de resolución de datos, dependiendo

...

esto de las necesidades específicas de información agregada para un problema determinado.

Niveles de resolución

En el caso específico de la región Lagunera se han supuesto, por -- ahora, dos niveles diferentes de resolución: El menor será el generado por una red cuadrada en la que cada elemento tendrá 30 segundos de latitud y longitud, lo que genera un área de aproximadamente 0.3 km2 (nivel 1). El mayor tendrá unas dimensiones de 2 minutos 30 segundos de latitud y longitud, lo que genera un área de aproximadamente 20 km2 (nivel 2) por cada elemento. De acuerdo a este supuesto, la región estará definida por 24 000 elementos de resolución a nivel 1 y 960 elementos de resolución a nivel 2.

Ambas matrices serán almacenadas en archivos de acceso directo -- controlados por índices; de esta manera su recuperación será mucho más rápida y por lo tanto el tiempo necesario para su proceso será menor.

Funciones de los - Programas

De igual manera se diseñará un paquete de programas de manejo de esta información. Este sistema deberá de contar con programas que cumplan las funciones de :

i) Almacenamiento
ii) Actualización
iii) Generalización
iv) Búsqueda
v) Comparación
vi) Información
[illegible]
[illegible] Mapeo
ix) Edición

Así el manejo de la información será mucho más rápido y fácil, agilizando la toma de decisiones.

Elementos Matriciales

Cada uno de los elementos de resolución de la red matricial regional tendrá asociada cierta información, correspondiente a las características especiales que dicho elemento representa de la situación existente en esa área. Esta información estará definida por índices racionalizados para su manejo y normalizados a un tipo general de unidades.

Tipos de Indices

Como se podrá ver, existen varios tipos de índices o descriptores de asociar a cada elemento de la retícula, éstos pueden ser : físicos, económicos y sociales. Por ejemplo, porcentaje de agricultura de riego, número de carreteras, etc. para el primer tipo; valor de la producción, productividad, etc., para el segundo y población económicamente activa, población total, densidad de población, etc. para el tercero.

Los modos en los que esta información está representada son variables. Así tenemos información areal, lineal y puntual, es decir, superficies de agricultura de riego como ejemplo del primer tipo; longitud de carreteras o líneas de transmisión para el segundo y ubicación de una mina, un pozo o un detalle específico para el tercero.

De acuerdo a lo anterior, será necesario que exista unificación de criterios, previa a la generación de los archivos maestros, conforme a la cual se definan los elementos que se tomarán en consideración para describir la región y que al mismo tiempo sean relevantes para fines de planificación regional.

Variaciones de la Información

Generalmente es aceptado que de acuerdo al tiempo transcurrido, a las necesidades sentidas y al comportamiento regional, después de iniciada

...

la implementación de un plan, los requerimientos de información pueden variar ampliamente desde el punto de vista de exceso de datos o falta de ellos.

Diseño del Sistema

Es por esto que el sistema de información tiene que estar diseñado de tal manera que permita su crecimiento o disminución en un momento dado para que cumpla con las necesidades de información del Plan.

Muy importante para el diseño del sistema de información es saber qué resultados se esperan cuando éste esté funcionando.

Los resultados esperados variarán de acuerdo al usuario, sea éste un técnico, un político o simplemente un ciudadano con intereses en la región.

Funcionamiento del Sistema

Un ejemplo típico de lo que podría preguntársele al sistema sería pues:

Quiero localizar en la región una industria de tal tipo. ¿Dónde es factible ubicarla de acuerdo a la menor inversión posible necesaria ?.

Para dar solución a este problema existen dos caminos que deben ser aplicables al sistema de información. Primero, obtener todos los factores o parámetros con los que tiene que cumplir el área para que la industria que se quiere instalar funcione adecuadamente. Estos serán: acceso, energía, mano de obra, facilidad de comercialización del producto, costos de producción existente de insumos básicos, tipo de clima, suelos, orientación, etc.. Estos parámetros son incluídos con sus valores y alimentados a los programas de búsqueda, comparación, e información [illegible] dentro del área para ver qué elementos de la región cumplen con estos parámetros, haciendo comparaciones con los valores que cada uno de ellos tiene almacenado

...

previamente; los ubica geográficamente y los alimenta a los programas de mapeo mismos que producen listados de salida en forma de mapas regionales en donde se indica qué elementos han cumplido con las características especificadas y por lo tanto con las áreas adecuadas para la ubicación de tal industria. Evidentemente que entre más parámetros de restricción se establezcan en la búsqueda, la localización será más estricta como también si tales parámetros son erróneos por desconocimiento por parte del usuario de los parámetros más relevantes y sus valores, la localización también será errónea.

El segundo sistema está basado en el aprendizaje que el sistema puede hacer acerca de los parámetros de localización más indicados.

Este segundo camino consiste en definir previamente en qué lugares ya se han establecido industrias del tipo de la del problema y analizar su funcionamiento si es adecuado o no y por qué causas. Entonces definir aquellas industrias en las que el funcionamiento es óptimo y alimentar con esta información a los programas de aprendizaje para que " aprendan " los parámetros que delimitan dichas áreas. Una vez hecho esto, tal información es alimentada, a su vez, a los programas de búsqueda que localizan todos aquellos elementos que cumplan con las condiciones fijadas por los programas de aprendizaje. Estos elementos son representados también por los programas de mapeo, logrando que los resultados puedan ser en un momento dado más satisfactorios por este camino que por el anterior, dependiendo de las necesidades específicas del usuario.

Importancia del Sistema

El conocer que este tipo de procesos son factibles en el sistema que se propone facilitará enormemente las labores de planeación dinámica, ya que la aplicación de las políticas del plan, de sus objetivos y metas será mucho más sencilla al contar con un instrumento de apoyo

...

en la toma de decisiones. Es por esta razón que el diseño e implementación de un sistema de información regional es tan importante para un plan estructural y para el mismo Plan de Ordenación, como lo es un modelo de transporte o de empleo o de política poblacional pues basados en la base informática almacenada es común a todos ellos.

ANALISIS
Y DIAGNOSTICO

OBJETIVOS GENERALES DEL PLAN DE ORDENACION TERRITORIAL DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

12
CAPITULO

Una vez analizados los antecedentes y diagnóstico de la zona conurbada de La Laguna, se fijan los objetivos del Plan de Ordenación Territorial que servirán de punto de partida para la elaboración de las --- bases y lineamientos que se presentan en el Documento 2.

Ordenamiento Poblacional

Determinar un sistema de ciudades estructurado de tal manera que los habitantes que pueblan y los que poblarán la zona tengan un desarrollo armónico y equilibrado.

Servicios

Intimamente ligado a este sistema, es necesario ubicar espacialmente los servicios educativos, asistenciales y municipales de tal forma que se optimice el servicio prestado a los habitantes, coadyuvando así a evitar la dispersión y los movimientos migratorios campo-ciudad.

Ocupación

Como apoyo fundamental a la organización del sistema de ciudades y como elemento principal para evitar la emigración del medio rural, es necesaria la creación de fuentes de trabajo que propicien el arraigo de la población campesina, que mejoren su nivel de vida y que permitan un desarrollo integral de la Región Lagunera.

Vías de Comunicación

Otra parte importante como elemento integrador territorialmente del sistema propuesto, está en el sistema de comunicación. Se debe determinar un sistema de vías de comunicación tal que permita una integración territorial del sistema de ciudades entre sí y de la región con otras regiones del país.

...

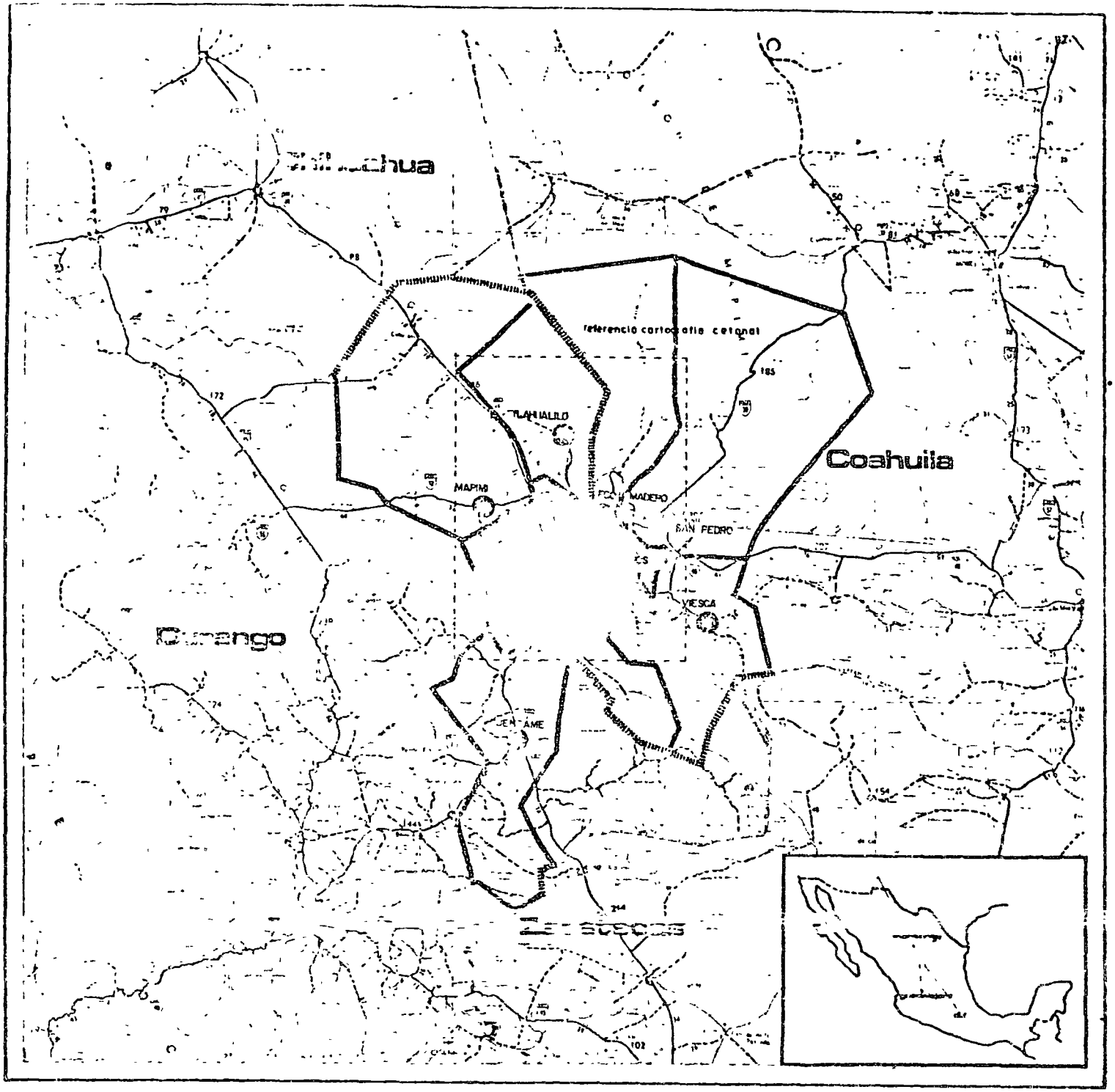
PARTE V
ANEXOS

Actividades Productivas	Debe incrementarse el desarrollo de actividades productivas íntimamente relacionadas con el potencial agropecuario de la zona. Industrias de pequeña escala, agroindustrias, etc. Este desarrollo debe tomar en consideración la disponibilidad de agua en la región. Siendo éste un elemento fundamental para el desarrollo en cualquier zona, en la Región Lagunera debe ser tomado en consideración para cada acción que se vaya a emprender, por su escasez y por la consiguiente necesidad de planificar su uso.
Reservas, usos y destinos	En relación con el crecimiento previsto de las áreas urbanas y dadas las características actuales en el uso del suelo, se deben determinar las reservas para crecimiento urbano, principalmente del núcleo interurbano así como los usos y destinos del suelo.

LAMINAS

1

ANEXO



SEDESOL

SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

ZONA INTERURBANA

ZONA CONURBADA SOCIAL

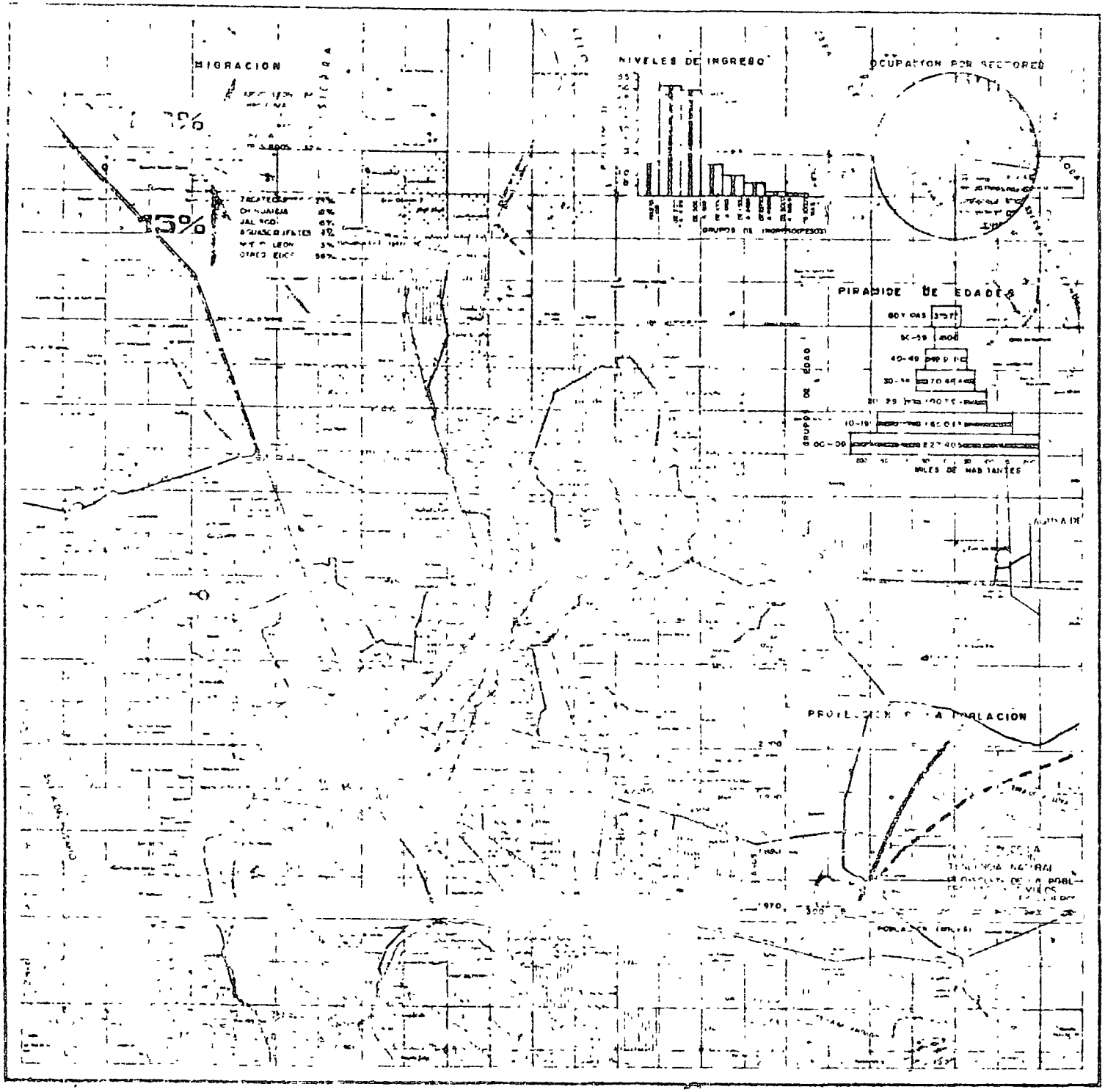
CABECERAS MUNICIPALES

DIVISION ESTATAL

DIVISION MUNICIPAL

ANALISIS Y DIAGNOSTICO

localización



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

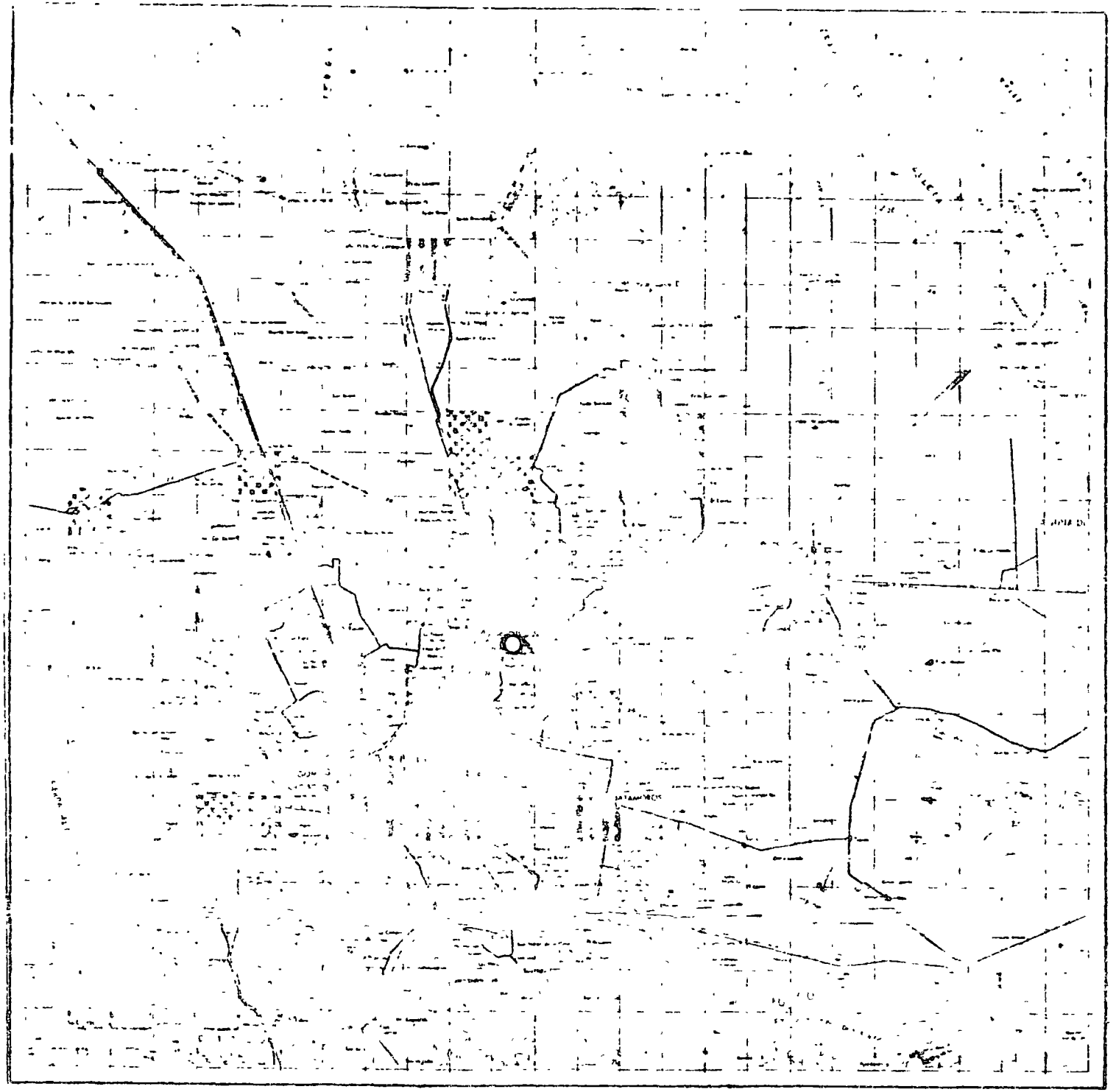
SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

zona conurbada de la laguna

- RANGO 1 DE 1 A 20 HAB/KM²
- RANGO 2 DE 21 A 40 HAB/KM²
- RANGO 3 DE 41 A 100 HAB/KM²
- RANGO 4 DE 101 A 250 HAB/KM²
- RANGO 5 DE 250 Y MAS HAB/KM²

ANALISIS Y DIAGNOSTICO

distribucion de la poblacion



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

zona conurbada de la laguna

NIVEL ALTO

NIVEL MEDIO

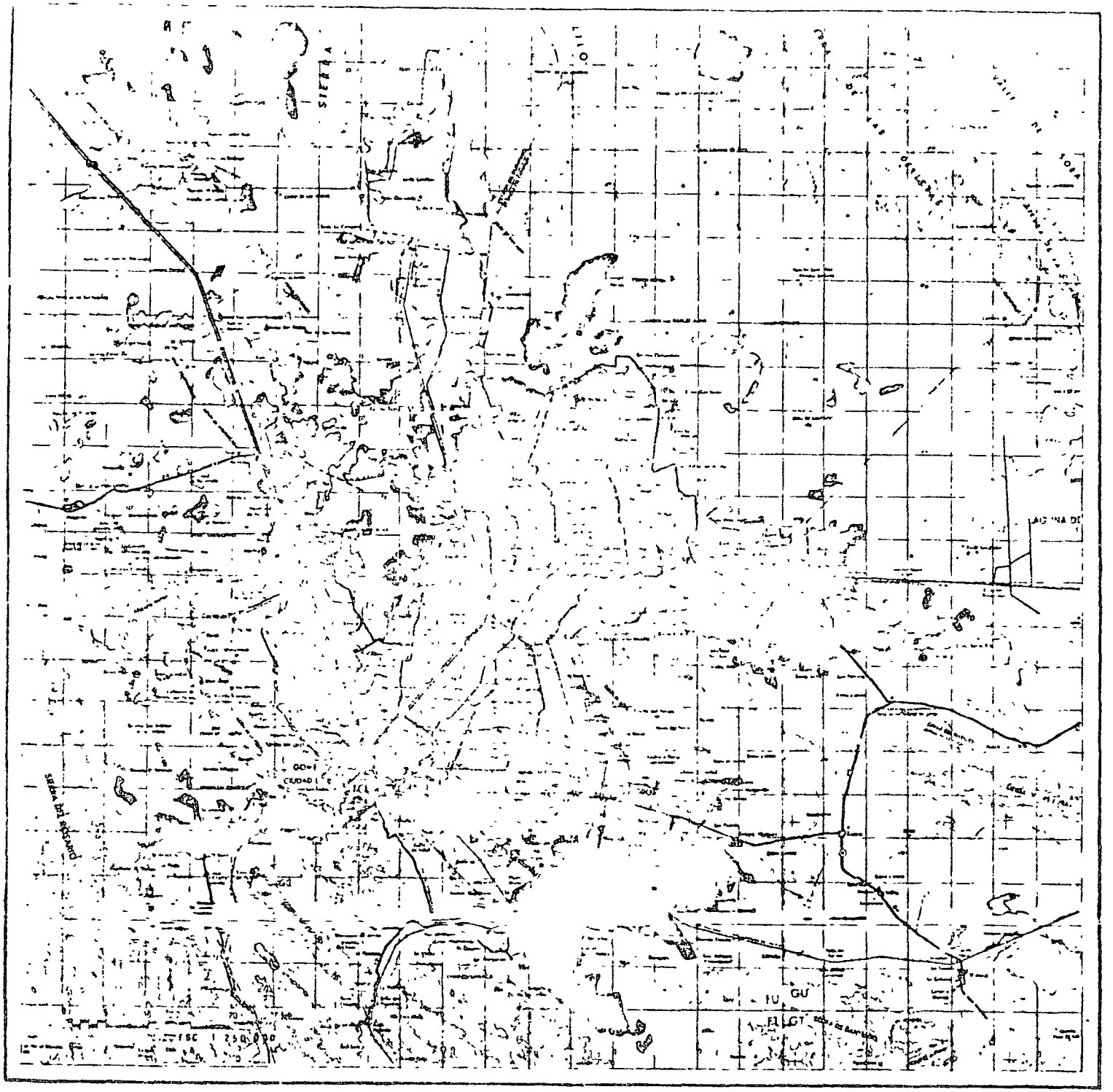
NIVEL BAJO

INDICADORES

- EDUCACION
- SALUD
- VIVIENDA

ANALISIS Y DIAGNOSTICO

nivel de desarrollo



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

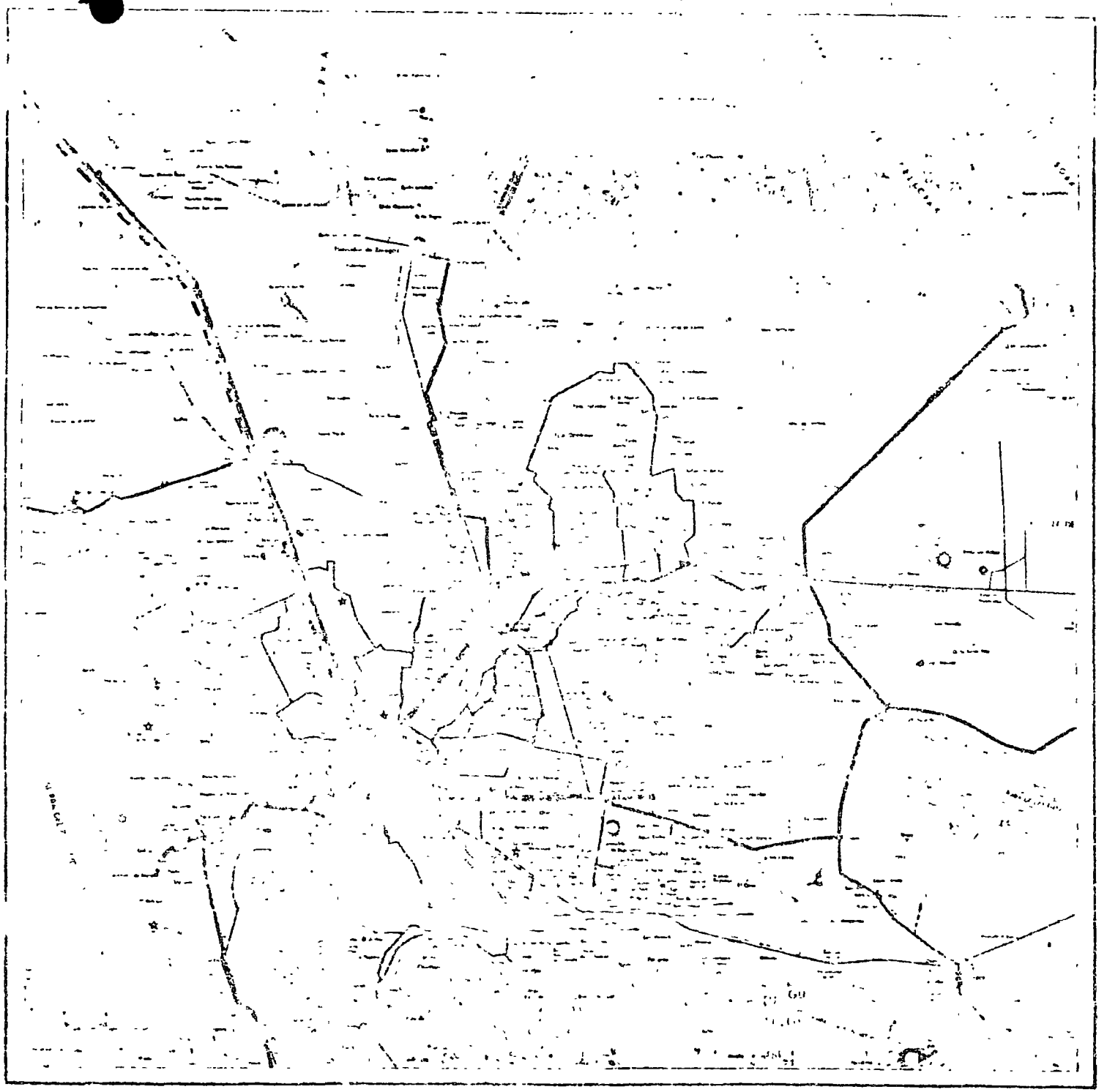
zona conurbada de la laguna

- AGRICULTURA DE RIEGO
- AGRICULTURA DE TEMPORAL
- P A S T I Z A L
- M A T O R R A L
- ZONAS SIN VEGETACION

4

ANALISIS Y DIAGNOSTICO

uso actual del suelo



DIRECCIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN TERRITORIAL DE ZONAS [illegible]

zona conurbada de la laguna

TRANSPORTES

CARRETERA PRINCIPAL

CARRETERA SECUNDARIA

BRECHAS

FERROCARRIL

AEROPUERTOS

AEROPISTAS

ENERGETICOS

TERMOELECTRICAS

SUBESTACIONES

LINEAS DE TRANSMISION

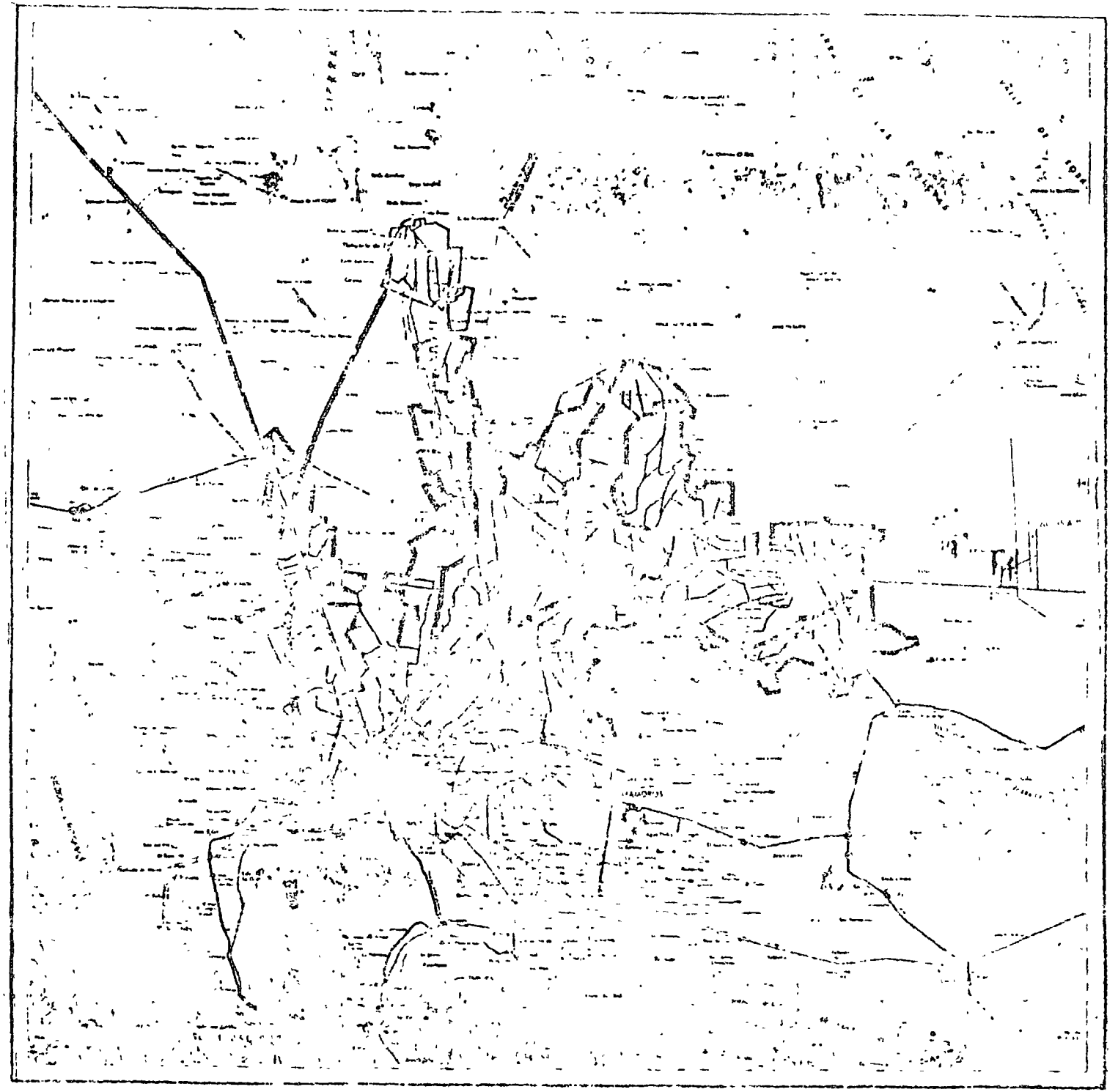
GASODUCTOS

COMUNICACIONES

TELEFONOS

ANALISIS Y [illegible]

infra estructura



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

zona conurbada de la laguna

LIMITE DEL DISTRITO

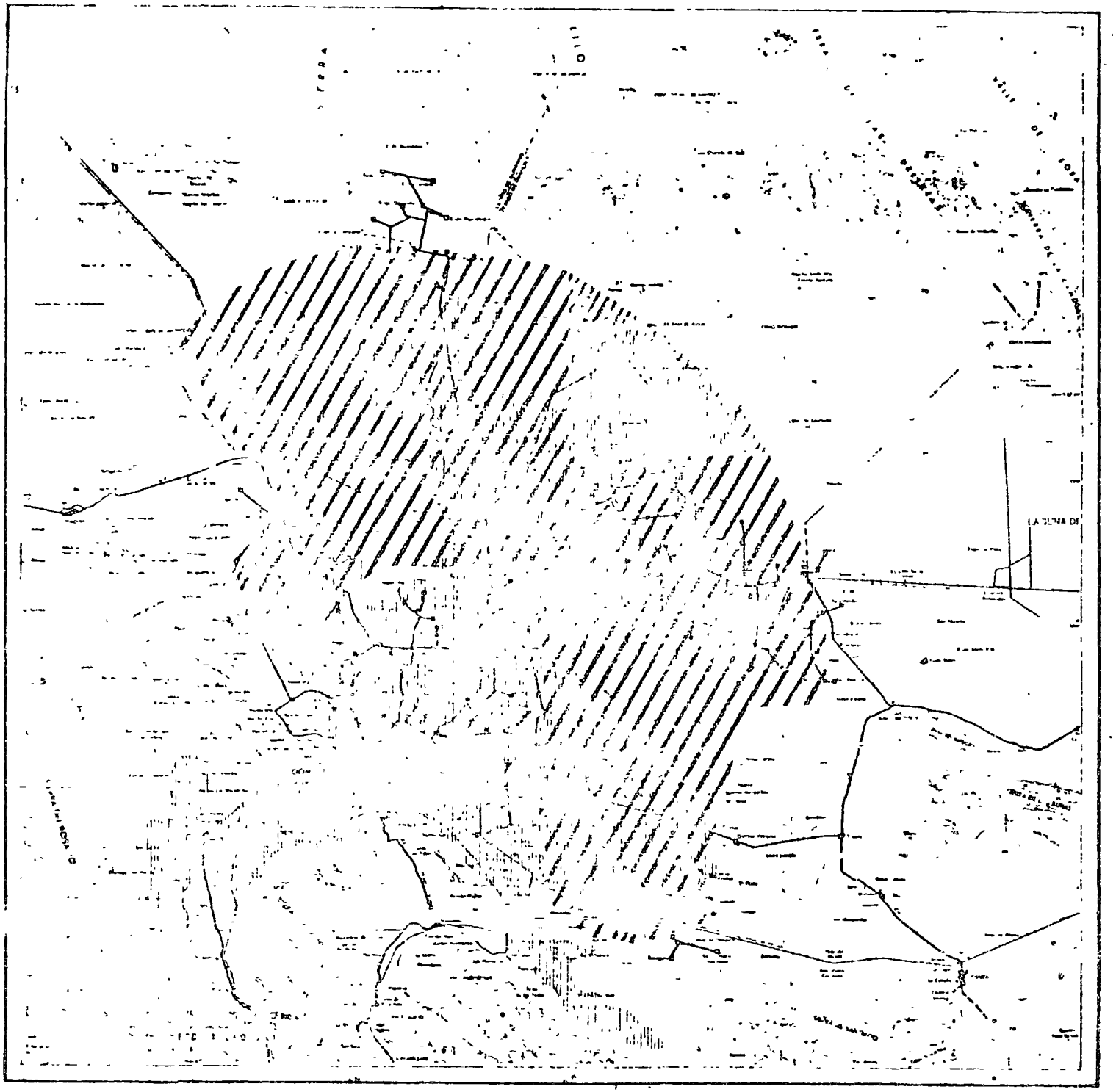
RAMALES DE LOS CANALES

CANALES PRINCIPALES

PRESA FCO ZARCO

ANALISIS Y DIAGNOSTICO

distrito



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

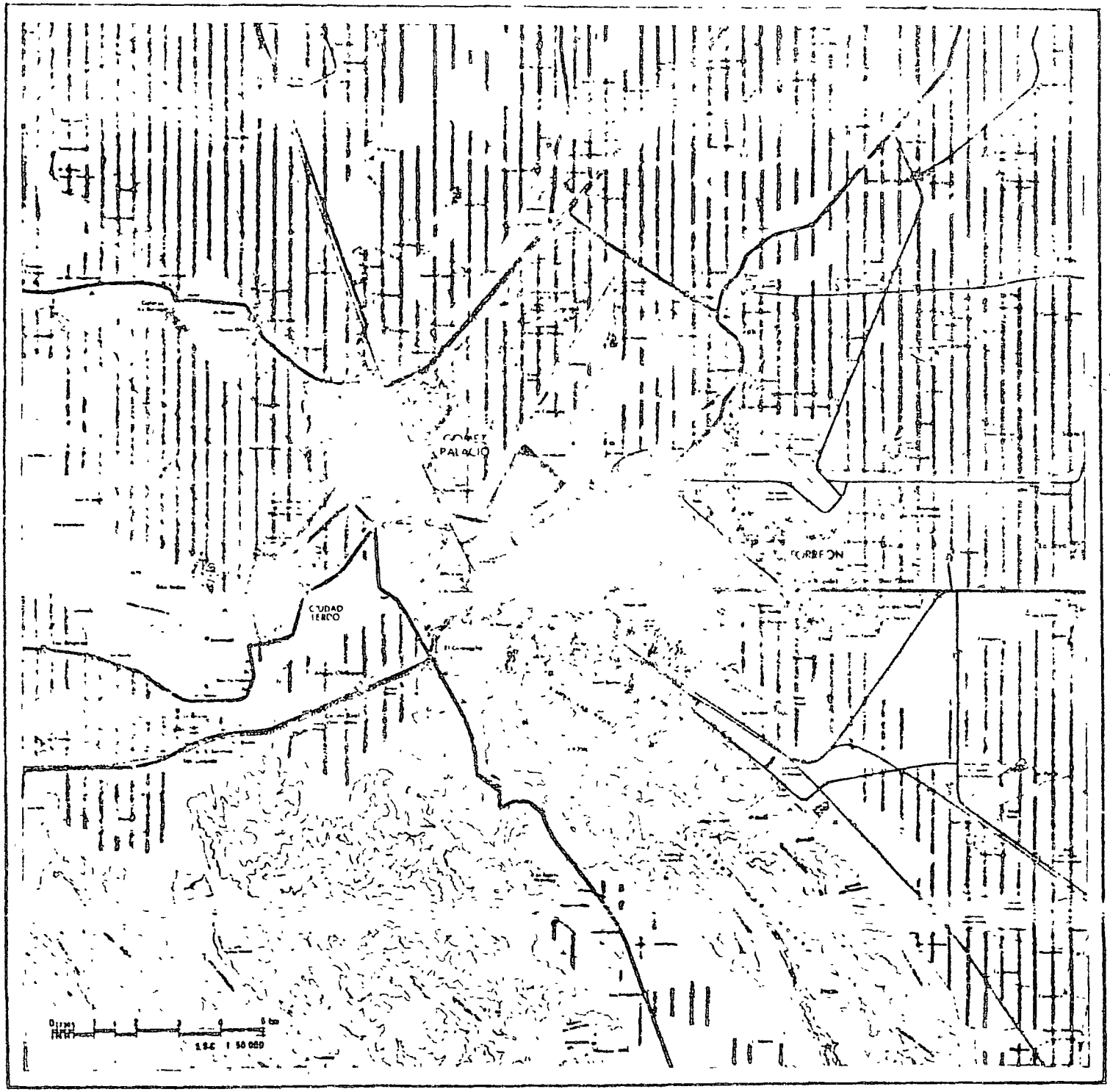
zona conurbada de la laguna

- AGUA SUBT CON As (mas 0.3 ppm)
- AGUA SUBT con As (0.05 a 0.3 p.p.m)
- ZONA DE POZOS
- LINEA DE CONDUCCION ACTUAL
- LINEA DE CONDUCCION PROYECTO
- FUENTE ABASTECIMIENTO
- PRESA "FCO ZARCO"
- ANTEPROYECTO CONDUCCION
- PLANTA DE TRATAMIENTO
- DISTRIBUCION AGUA TRATADA

7

ANALISIS Y DIAGNOSTICO

distribucion de agua potable



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

zona conurbada de la laguna

ZONA INDUSTRIAL

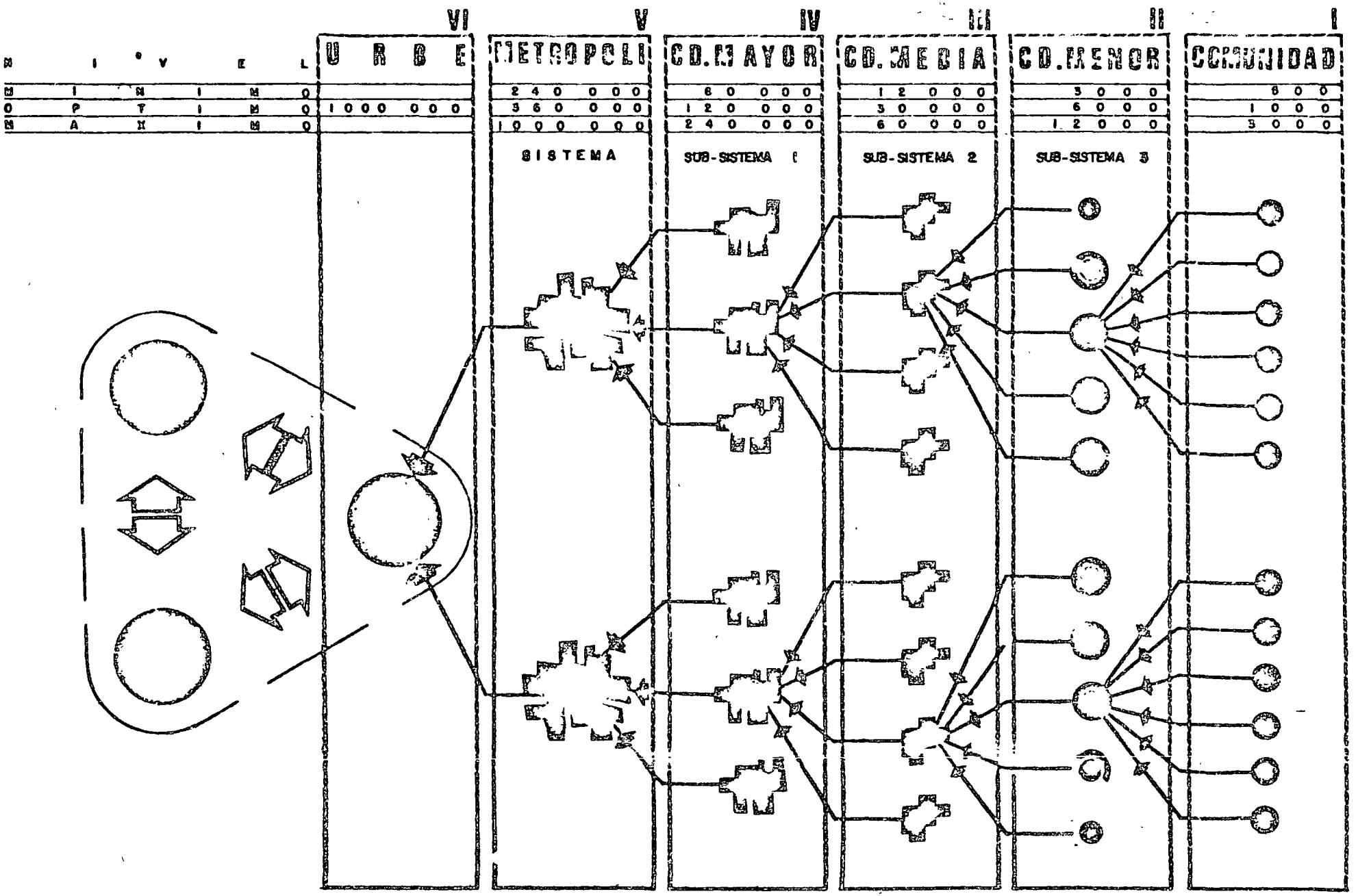
ZONA URBANA

ZONA AGRICOLA

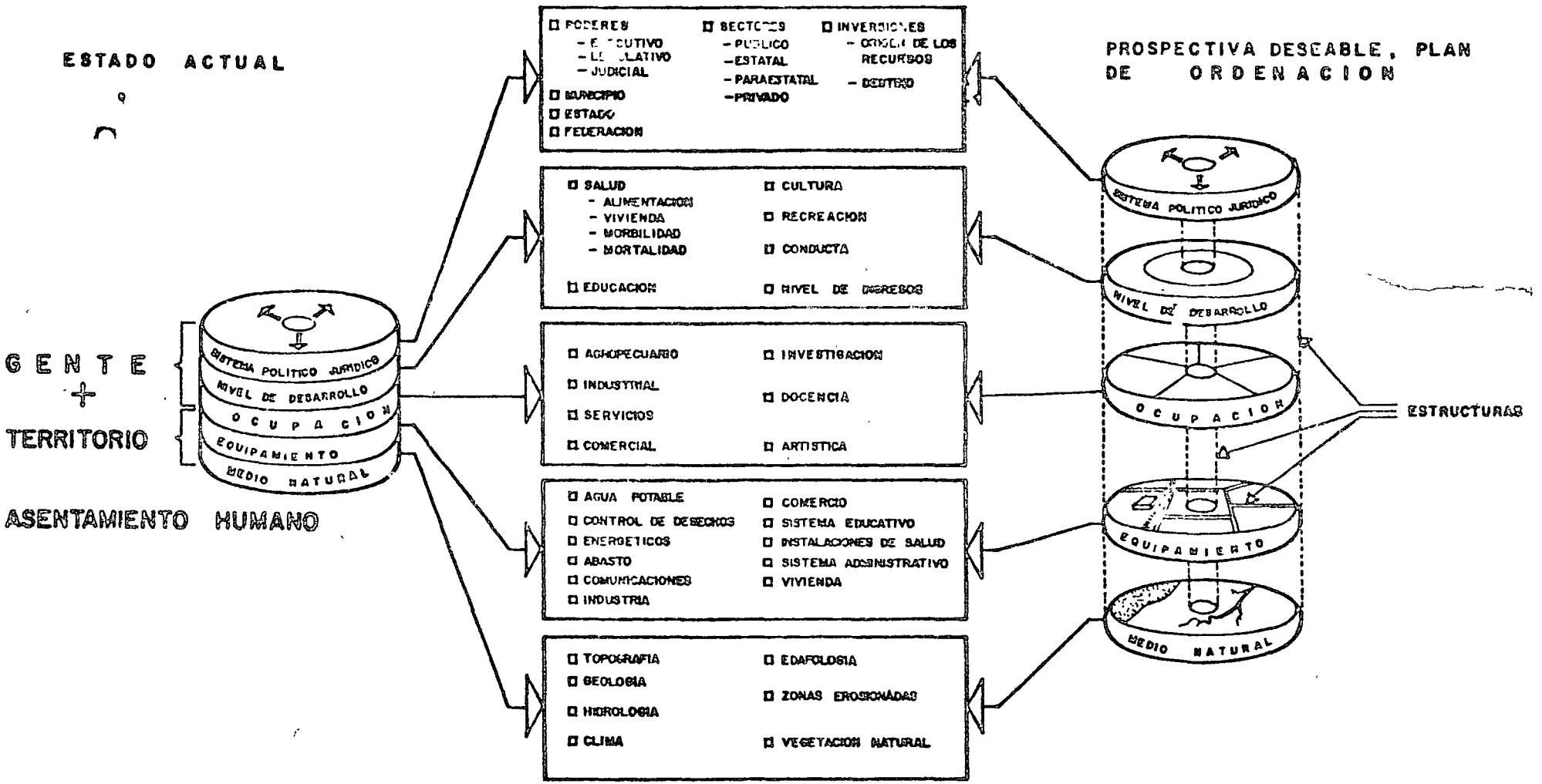
ANALISIS Y DIAGNOSTICO

uso actual del suelo

ESTRUCTURA DE RELACIONES DE LA POLITICA POBLACIONAL



PLAN ESTRUCTURAL TERRITORIAL



PLAN ESTRUCTURAL TERRITORIAL

- [illegible] POLITICAS NACIONALES REGIONALES
- DA LA ESTRUCTURA A PLANES DIRECTORES Y SECTORIALES

+

PLANES DIRECTORES C. DE POBLACION

- [illegible] DEL PLAN ESTRUCTURAL TERRITORIAL
- DA LA DEFINICION A NIVEL DE PROYECTO ESPECIFICO

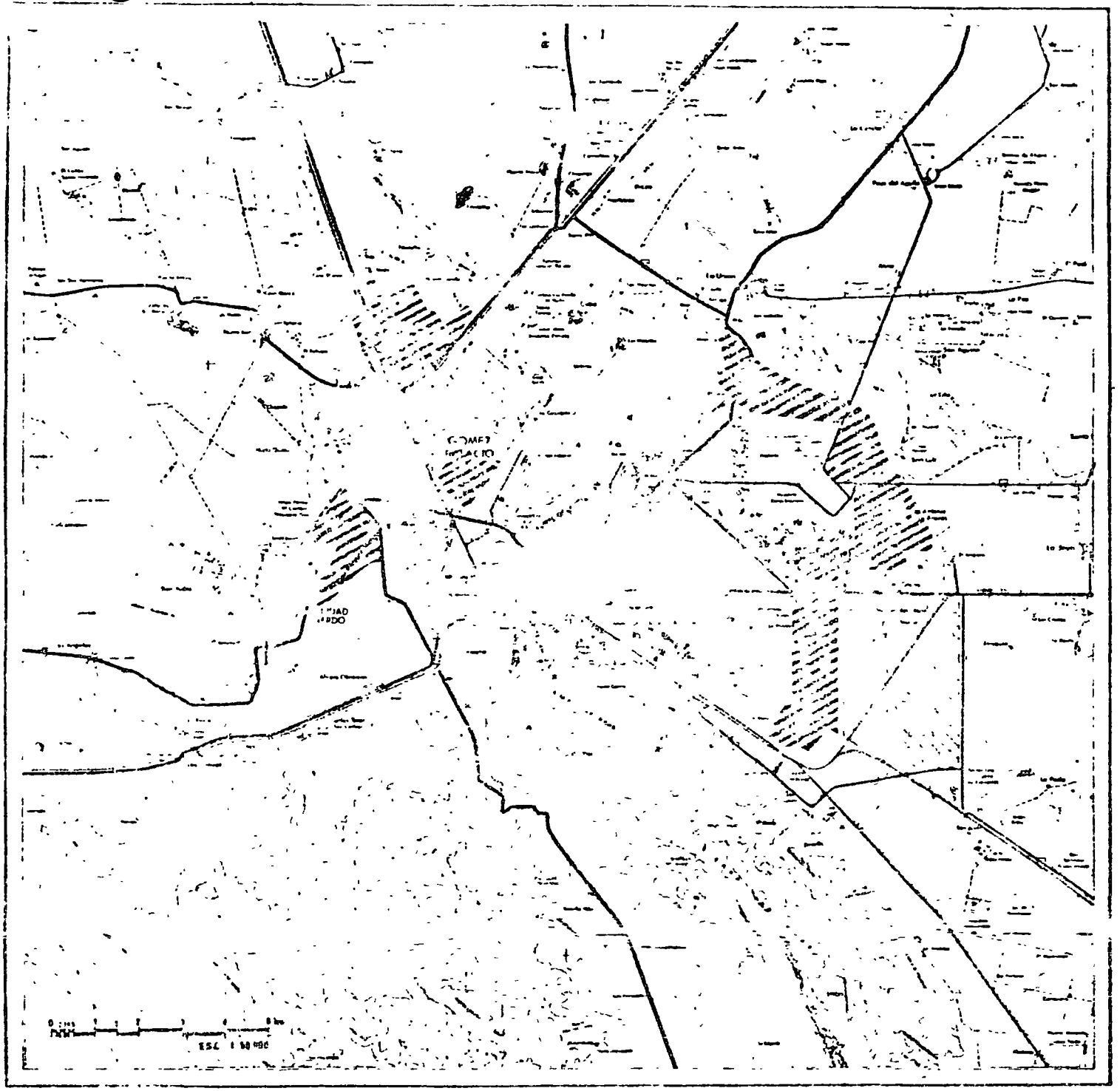
+

PLANES SECTORIALES

- [illegible] DEL PLAN ESTRUCTURAL TERRITORIAL
- DEFINE, IMPLEMENTA Y REALIZA ACCIONES EN AMBITO DE COMPETENCIA.

=

PLAN DE ORDENACION



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

zona conurbada de la laguna

CARRETERA PRINCIPAL

CARRETERA SECUNDARIA

MANCHA URBANA 1977

CRECIMIENTO INDUSTRIAL

CRECIMIENTO AÑO 2000

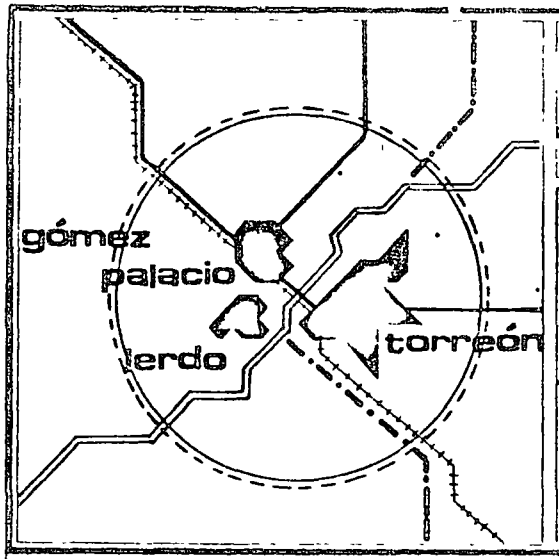
CRECIMIENTO AÑO 1990

A Ñ O		HABITANTES
	1977	375000
TORREON	1990	650000
	2000	900000
	1977	100000
G PALACIO	1990	150000
	2000	200000
	1977	40000
L E R D O	1990	85000
	2000	100000

ESC 1:50 000

ANALISIS Y DIAGNOSTICO

tendencia natural de crecimiento



SAHOP

Subsecretaría de
Asentamientos Humanos

Dirección General
de Planeación Territorial
de Asentamientos Humanos

ZONA CONURBADA DE LA LAGUNA

PLAN DE ORDENACION TERRITORIAL

Bases y Lineamientos

2

BASES
Y LINEAMIENTOS

II CONTENIDO

Capítulo 1 — Introducción

Capítulo 2 — Antecedentes
- Decreto
- Comisión de Conurbación
- Integración de la Comisión de Conurbación
- Secretariado Técnico
- Plan de Ordenación Territorial de la Zona Conurbada
- Area de Estudio

Capítulo 3 — Situación Actual

Capítulo 4 — Ordenación Territorial de los Asentamientos Humanos
(Referencia Láminas 1 a 6)

Anexo:

Lámina 1. Sistema de Ciudades. Corto Plazo
Lámina 2. Sistema de Ciudades. Largo Plazo
Lámina 3. Propuestas Nivel Regional
Lámina 4. Crecimiento Urbano
Lámina 5. Propuestas Nivel Interurbano
Lámina 6. Sistema de Ciudades

BASES
Y LINEAMIENTOS

INTRODUCCION

1

CAPITULO

C

Perspectivas de la Planeación en la - Región

Dentro del contexto nacional, la Zona Conurbada de la Laguna ofrece - condiciones muy favorables para alcanzar mediante los planes que para esta zona se elaboren, el equilibrio entre los asentamientos humanos y su marco regional, propiciando un alto nivel de desarrollo a la mayoría de la población, objetivo principal de los trabajos de la Comisión de -- Conurbación.

En apoyo de la prospectiva señalada podemos referirnos a que geográficamente es una zona perfectamente definida a través de la explotación - agropecuaria de las tierras que antaño ocupara la laguna del Mayrán y - que actualmente son aprovechadas por el distrito de riego No. 17 del -- caudal del Río Nazas mediante las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco y la extracción de agua subterránea mediante la perforación de - pozos.

Desde el punto de vista de infraestructura y equipamiento tanto el nivel federal como el estatal han invertido en importantes renglones, contando en la actualidad con una estructura que si bien no puede decirse que es completa, sí ha sido factor muy importante para el desarrollo de la región.

Podemos referirnos también a que el nivel de desarrollo de los 900 000 habitantes que la ocupan, en términos relativos a la situación general - del país es alto.

Consideraciones regionales

La región también conocida como Comarca Lagunera, podríamos concep

. . .

tuarla como en una etapa intermedia de un proceso hacia su conformación como ecosistema. Es decir: no es una región cuya característica sea de potencial desarrollo, como pudieran serlo la de la desembocadura del Río Balsas o la de Coatzacoalcos, ni tampoco su crecimiento ha rebasado la capacidad de la región rompiendo con consecuencias graves el equilibrio ecológico, como sucede en el centro del país.

La región comprende parte de los municipios de Torreón, Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro y Viesca del estado de Coahuila y Gómez Palacio, Lerdo, Cuencamé, Tlahualilo y Mapimí del estado de Durango.

Concentración Demográfica

La población se ha concentrado preferentemente en las ciudades que motivan la conurbación: Torreón, Gómez Palacio y Lerdo en donde radican más del 50% del total y en donde también se concentra en forma mayoritaria la actividad industrial y comercial.

Aunque los problemas derivados de ser zona conurbada aún no tienen características graves, gracias al afortunado sentimiento regional de los "Laguneros", creemos que la elaboración del Plan de Ordenación de la zona vendrá a cumplir con una necesidad ya planteada como imperiosa dado que por un lado la explotación del agua del subsuelo año con año excede a la recarga de los mantos y es también evidente el desequilibrio poblacional creando condiciones sumamente difíciles de desarrollo a gran parte de la población, asimismo, permanecen sin aprovechamiento otro tipo de recursos naturales que pueden ser apoyo importante para su desarrollo económico.

Ambito del Documento

En este documento que contempla el ámbito territorial se ha partido de los criterios rectores las políticas y lineamientos programáticos nacionales y sectoriales en elaboración por la Secretaría de Programación y Presupuesto. Asimismo, el Plan Nacional de Desarrollo Urbano nos ha proporcionado los lineamientos que como región ocupa y podrá ocupar en el futuro del País.

En el documento se plantean las bases del ordenamiento territorial a una

prc spectiva más allá del año 2 000 donde la región pueda pasar de los 900 000 habitantes actuales a más de 3 millones, alcanzando niveles de equilibrio en su desarrollo socioeconómico.

BASES
Y LINEAMIENTOS

ANTECEDENTES

2

CAPITULO

Decreto

Con fecha 6 de octubre de 1976, se publicó en el Diario Oficial el Decreto que declara la Zona Conurbada de la Laguna. En el mismo diario con fecha 16 de junio de 1977, se publicó la modificación al anterior Decreto.

Se declara Zona Conurbada la comprendida por las áreas circulares generadas por un radio de 30 km cada una, cuyos centros están constituidos por los puntos de intersección de la línea Fronteriza entre los Estados de Coahuila y Durango y de las líneas que resulten de unir la cabecera municipal de los municipios de Gómez Palacio y Lerdo con la de Torreón respectivamente".

Comisión de Conurbación

En el mismo Decreto "Se Constituye la Comisión de Conurbación de la Laguna que tendrá por objeto la planeación y regulación de los asentamientos humanos, tendiendo a mejorar las condiciones de vida de la población urbana y rural de la zona".

Integración de la Comisión de Conurbación

"La Comisión estará integrada por los Gobernadores de Coahuila y Durango; por los Presidentes Municipales de los municipios de:

Viesca Edo. de Coahuila
Torreón, Edo. de Coahuila
Matamoros, Edo. de Coahuila
Francisco I. Madero, Edo. de Coahuila
San Pedro, Edo. de Coahuila
Gómez Palacio, Edo. de Durango

Lerdo, Edo. de Durango
Tlahualilo de Zaragoza, Edo. de Durango
Cuencamé, Edo. de Durango
Mapimí, Edo. de Durango*

Y por el Secretario de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, quien presidirá la Comisión. . . ."

Secretariado Técnico

"La Comisión contará con un Secretariado Técnico formado por elementos y personal comisionado por los Gobiernos locales y municipales que participen en ella, y por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, quien coordinará sus trabajos y del que podrán formar parte otras dependencias.

Plan de Ordenación Territorial de la Zona Conurbada

Dentro de las funciones de la Dirección General de Planeación Territorial de los Asentamientos Humanos de la Subsecretaría de Asentamientos Humanos, está la de elaborar el Plan de Ordenación Territorial de la Zona Conurbada de la Laguna el cual se integrará al Plan de Ordenación de dicha zona.

Area de Estudio

El área comprendida por los municipios que originalmente constituyen la zona es de 40 530 km2*.*

Para su estudio se consideró como Zona Conurbada a la que comprende el área de la Comarca Lagunera y como Núcleo Interurbano al área de las ciudades de Torreón, Gómes Palacio y Lerdo más sus áreas inmediatas.

---

* Sujetas de integración posterior por parte del Gobierno del Estado de Durango.

** Información Censal S.I.C. 1970

BASES
Y LINEAMIENTOS

SITUACION ACTUAL

3

CAPITULO

PROBLEMATICA DETECTADA

Después de haber analizado la información obtenida en antecedentes y diagnóstico se han detectado ciertos problemas de tipo socioeconómico en los asentamientos humanos que forman la Zona Conurbada de la región Lagunera.

Los problemas más importantes son destacados a continuación dentro de los rubros de Aspectos Humanos, Actividades Productivas e Infraestructura.

ASPECTO HUMANO
Población

La tasa de crecimiento de la población es menor a la nacional 2% anual. Se prevé que para 1987 habría en la Laguna el doble de la población que en 1970.

En relación con la distribución de la población por grupo de edades es importante mencionar que el 66% de los habitantes tiene menos de 25 años.

Hay una alta concentración urbana al lado de una gran dispersión rural. Hay únicamente cinco localidades con más de 15 000 habitantes que albergan aproximadamente el 60% de la población total en las casi 900 localidades. (Datos censales 1970)

Migración

Se hace necesario definir políticas de arraigo para la población, pues para 1970 un 23% de la población había abandonado su lugar de origen para radicar en otros estados y únicamente un 15% provenía de otras entidades.

. . .

Ocupación

Existe una elevada dispersión a nivel rural, una población con una P.E.A. agrícola atrasada, de poca intensidad económica con los ingresos más bajos y altas tasas de subempleo, desocupación y malestar social.

De la población total el 22.6% está en el rango de P.E.A. y supone un 8% de desocupados y una tasa abierta de desocupación de un 5.2%.

Más del 50% de la P.E.A. pertenece al sector agropecuario; mientras que el 20% y 23% se dedican a actividades industriales y comercio y servicios respectivamente.

Hay grandes variaciones en los niveles de ingreso que van de $ 975.00 al mes en Tlahualilo hasta 20 000 en Torreón. Así aproximadamente el 80% de la población percibe menos de 1000 pesos y únicamente el 2% más de 5 000 pesos.

Mano de obra excedente (más de 20 000 desempleados) e incapacidad de los sectores industriales para absorberla.

30 000 empleos en industria, 60 000 empleos en agropecuario, 25 000 en comercio y servicios

Educación

Es significativo el hecho que el 30% de la P.E.A. se encuentra en edad escolar.

A nivel secundaria hay un déficit del 51%; en preparatoria y capacitación técnica es de 90.7% y a nivel superior es de 95%. Información que es muy relevante para analizar las políticas educacionales a futuro.

Nivel de Vida

Una gran parte de la población se alimenta en forma deficiente.

Del total de la población el 30% no consume carne, leche y huevos ni un sólo día a la semana.

. . .

Salud

Un porcentaje elevado de las defunciones, cerca del 40% se debe a parásitos e infecciones. Hay únicamente un médico para cada 1 600 habitantes y en toda la región sólo hay 722 camas, con una distribución geográfica muy desigual.

Deficientes servicios asistenciales existe en promedio, un médico por cada 1 600 habitantes y una cama por cada 950 habitantes.

Vivienda y Servicios

Un 53% de las viviendas carece de drenaje y un 30% no dispone de energía eléctrica. Hay un déficit de 20 000 vivienda.

Hay también problemas de hacinamiento pues de las existentes el 60% era de 1 y 2 cuartos y sólo el 20% de cuatro cuartos o más.

ASPECTOS HUMANOS EN EL AREA INTERURBANA TORREON-GOMEZ PALACIO-LERDO*

Población

El área de los tres municipios es equivalente al 12% de la superficie conurbada. En ella residen 495 000 personas, o sea el 62% de la población total y el 64% de las familias, con una densidad de 103 habitantes/km2 y un promedio de 6.0 miembros por familia.

El 89% de la población se concentra en las tres ciudades de Torreón, Gómez Palacio y Ciudad Lerdo y el 8% habita 179 localidades dispersas de tipo rural. El 3% restante reside en 77 pequeños pueblos y millas.

Migración

No obstante la alta densidad y la concentración productiva existente en las tres ciudades, se dan saldos netos migratorios negativos en Torreón y Gómez Palacio, 1.3 y 0.5 respectivamente, mientras en Ciudad Lerdo hay equilibrio en su movimiento poblacional.**

---

* Fuente: SIC. IX Censo General de Población 1970. Dirección General de Estadística, excepto especificaciones.

** Rosales-Mateos Gustavo, Espacio y Empleo, México 1976. Pág. 33

Ocupacion

El 66% de la P.E.A. total en la región se encuentra en estos tres municipios con una tasa abierta de desempleo de 1.9. El sector de comercio y Servicios ocupa al 42% de su P.E.A., el 22% labora en industrias y el 36% se dedica a actividades agropecuarias.

Educación

El 88.7% de su población es alfabeta y el 67.62 de su P.E.A. se encuentra en edad escolar.

Esta área metropolitana concentra al 66% de la población escolar primaria en el 52% de las escuelas y es atendida por el 64% del magisterio.- El 75% de la población en nivel medio básico recibe instrucción en 87 de las 128 escuelas secundarias de la región y el 91% del alumno en educación media superior o preparatoria frecuenta 21 de las 23 escuelas de --dicho nivel. La educación superior se imparte totalmente en Torreón y Gómez Palacio.

Nivel de Vida
Alimentación

Al referirnos a la alimentación, los datos censales revelan la misma situación de concentración: más del 70% de la población que consumió carne, leche y huevos cuatro días o más, se localizaba en los municipios - que nos ocupan; mientras que del total de la población que no consumió estos alimentos, más del 50% de la misma se encontraba distribuída en - los siete municipios circundantes.

Salud

En relación a la natalidad estos municipios reportaron la tasa más alta - en Torreón (59/1000) y la más baja en Lerdo (41/1000) de la conurbación. Asimismo, reportan el menor número de defunciones en términos relativos, lo cual probablemente se debe a que un mayor número de habitantes cuentan con atención médica.

En lo que se refiere a los servicios para la salud, dichos municipios -- disponían de los mayores recursos en este aspecto; pues en Torreón, --- Gómez Palacio y Lerdo había 264, 80 y 23 médicos respectivamente, lo - que equivale al 88% del total. Además concentraban el 85% del total de camas, poniendo de manifiesto una muy desigual distribución de estos --- servicios en la region.

Vivienda

En lo que respecta a vivienda estos tres municipios disponen del 65% del total de viviendas de la zona. Haciendo notar que sus 70 212 viviendas constituyen el 87% y que el 73% del total disponen de drenaje y energía eléctrica respectivamente, debido a la concentración de servicios.

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Sector Agropecuario

El problema fundamental al que se enfrenta la Laguna es la escasez de agua, la dotación hecha por las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco es de 900 millones de m3 anuales y la extracción de aproximadamente 2 500 pozos es de 1 600 millones de m3, lo que causa un agotamiento de los acuíferos y abatimiento de los mantos. Se calcula una recuperación de aproximadamente el 45% por lo que es necesario sujetar a un control definido la explotación del acuífero para asignar un nivel estable constante de extracción y de recuperación.

Sector Industrial

Inadecuada planeación regional que desaprovecha las ventajas comparativas para un desarrollo agro-industrial intenso.

Hay problemas de concentración pues el 90% de la industria pertenece a establecimientos de pequeña y mediana industria, el 50% del valor agregado depende de actividades primarias tradicionales con técnicas atrasadas, alta densidad de mano de obra y muy baja productividad.

La comercialización de los productos industriales determina que aproximadamente el 70% de las empresas venden menos de la mitad de la producción en el mercado regional.

Los planes de expansión industrial vienen a causar una fuerte presión sobre los usos del suelo urbano y suburbano al generar nuevos empleos y provocar la inmigración de mano de obra especializada. El crecimiento de la mancha urbana de acuerdo a la tendencia tradicional afectará terrenos agrícolas y urbanos subutilizados y por ende los patrones de usos del agua y de las actividades productivas en las áreas afectadas.

. . .

Sector Comercio

Existe una gran concentración en el sector comercio que está dada por dos factores, el primero espacial pues casi la totalidad del comercio - se encuentra en Torreón, Gómez Palacio y Lerdo, y segunpo por ramas de actividad pues la mayoría de los comercios están dedicados a productos alimenticios, tiendas de autoservicio e insumos y materias primas - en general.

INFRAESTRUCTURA

Comunicaciones y Transportes

Grandes deficiencias en el sistema vial y falta de libramientos para las tres ciudades GP-L-T.

Dadas las circunstancias de la posición geográfica de la conurbación - - Torreón-Gómez-Lerdo dentro de la red caminera nacional se hace necesaria la ejecución de un libramiento a las áreas urbanas para reducir los problemas que los transportes pesados causan al tráfico interno de las - ciudades.

Hidráulica

- Faltan de finalizar la red de abastecimiento de agua potable en ciertos núcleos de población importantes dentro de la zona.
  Actualmente hay problemas de abastecimiento de agua potable en las áreas urbanas; por falta de definición de las zonas - de captación del líquido.
- Problemas de inundaciones en las áreas urbanas por la falta de un sistema de drenaje pluvial y de control de las aguas servideras.

POTENCIALIDAD PARA EL DESARROLLO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS.

La zona conurbada de la región Lagunera cuenta con un potencial para el desarrollo de los Asentamientos Humanos que es promisorio.

Agricultura

El sector agropecuario está en la actualidad bien desarrollado pero por - los problemas de abastecimiento de agua será necesario racionalizar su - uso y por lo tanto tecnificar la agricultura para que continúe con su ritmo de evolución, considerando que únicamente se podría contar con - --

900 millones de m3 anuales de agua superficial y únicamente 600 pozos que se han calculado como los requeridos para mantener en equilibrio al acuífero.

Diversificación en ciertos cultivos y la introducción de algunos tipos de frutales permitirían aumentar la producción y el ingreso de los niveles más desfavorecidos.

Industria

El potencial industrial de la Laguna es muy atractivo, pues las restricciones que hasta cierto punto se imponen al sector agrícola, favorecen los desarrollos industriales en la zona. Esta cuenta con toda la infraestructura necesaria para la instalación agro-industria, extractivas y de transormación pues sus comunicaciones son excelentes con los mercados principales. El problema del agua no es crítico para usos industriales y la provisión de energéticos está asegurada de igual manera que cierto número de insumos fundamentales.

Minería

Existen ciertos yacimientos de mármol blanco de Durango en la sierra del Sarnoso en la zona Occidental de la región según informaciones recibidas son de gran calidad por lo que se requiere infraestructura para su explotación.

Comercio

De acuerdo a las tendencias de crecimiento industrial que se han detectado existe una gran potencialidad en el establecimiento de comercios que proporcionen los insumos necesarios. De igual manera su desarrollo estará de acuerdo a los crecimientos urbanos que se den en la zona. Existe la posibilidad de organizar a grupos de comerciantes en pequeño para que estén en condiciones de competencia con los grandes establecimientos comerciales que con matrices fuera de la región se han establecido en la zona.

BASES
Y LINEAMIENTOS

ORDENACION TERRITORIAL DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

CAPITULO 4

Reordenamiento Poblacional

Desde el punto de vista de reordenamiento poblacional de la Zona Conurbada de La Laguna, se ha diseñado un sistema de ciudades el cual organiza los asentamientos humanos en la región de acuerdo a una jerarquía definida por el nivel de servicios y el número de habitantes. (Lámina 6)

La organización del sistema está basada en un análisis de las relaciones de ubicación espacial de las localidades; de su potencialidad de atracción por su nivel de servicios y sus recursos naturales y de su infraestructura instalada. El sistema está simulado por un modelo matemático que define todas estas relaciones. (Capítulo 10 Documento 1)

El objetivo principal de este sistema es estructurar territorialmente los asentamientos humanos de la zona para que el potencial con que cuentan pueda ser aprovechado en forma óptima por los habitantes del lugar y por los que se incrementarán. El conocimiento inmediato de los potenciales de cada una de las zonas quedará definido por un sistema de información automatizado. (Capítulo 11 Documento 1)

Esta ordenación también permite canalizar la inversión pública en lo referente a servicios municipales, educacionales, asistenciales y de obras de infraestructura y en consecuencia distribuir adecuadamente los servicios y aprovechar al máximo las inversiones en la zona. Estas políticas aunadas a las de creación de fuentes de trabajo permitirán evitar la emigración hacia los centros urbanos y coadyuvar a la concentración de la población en esas localidades, equilibrando de esta manera la distribución de la población en el territorio.

La ordenación está compuesta por sistemas principales (Láminas 1, 2 y 6), de los cuales los primeros tres forman lo que se ha denominado como - la urbe La Laguna. Estos sistemas son:

1. Torreón
2. Gómez Palacio
3. Lerdo
4. Matamoros
5. La Paz
6. Bermejillo
7. Nazareno
8. San Pedro
9. Francisco I. Madero
10. Tlahualilo

Estos sistemas a su vez se dividen en Subsistemas 1, 2 y 3, de los - cuales las poblaciones que forman el Subsistema 1 son:

4 La Joya
5 San Felipe, El Compás
6 Mapimí
7 Santo Niño Aguanaval
8 La Rosita, Concordia
9 San Antonio-El Fénix-Los Angeles-Buen Abrigo, La Fe
10 18 de Marzo-A. Martínez Adame-El Barro

El subsistema 2 está formado por:

4 Hidalgo, La Esperanza-El Consuelo, San Antonio de los Bravos
5 Esmeralda, La Unión
6 Nuevo Gómez-San Ignacio, El Vergel, Sierra Hermana, Providencia-6 de Octubre, Vicente Suárez
7 La Perla, Ignacio Zaragoza, Boquilla de las Perlas, Tejabán de la Rosita
8 Luciana, San Ignacio, San Esteban de Abajo, San Miguel-Frontera
9 Hidalgo, Salvador de Arriba, Mitla-San Rafael de Arriba

....

El Subsistema 3 está formado por 184 localidades que deberán pasar de una población actual de un promedio de 1 000 habitantes a 6000 habitantes por población.

Integración Territorial

Para lograr una integración territorial de los sistemas de ciudades propuestos, será necesario llevar a cabo aquellas comunicaciones que están indicadas en el esquema vial y que no están construidas actualmente. (Láminas 1, 2, 3, 5 y Capítulo 10 Documento 1)

Reservas Territoriales

De acuerdo al sistema de ciudades que se ha propuesto, existen algunas localidades a las que será necesario prever reservas territoriales para crecimiento urbano, según las proposiciones (láminas 1, 2 y 4). En la lámina 4 se encuentran especificadas las áreas donde podrían crecer las ciudades sin restricciones por pendientes, inundación o uso agrícola intensivo.

Acciones

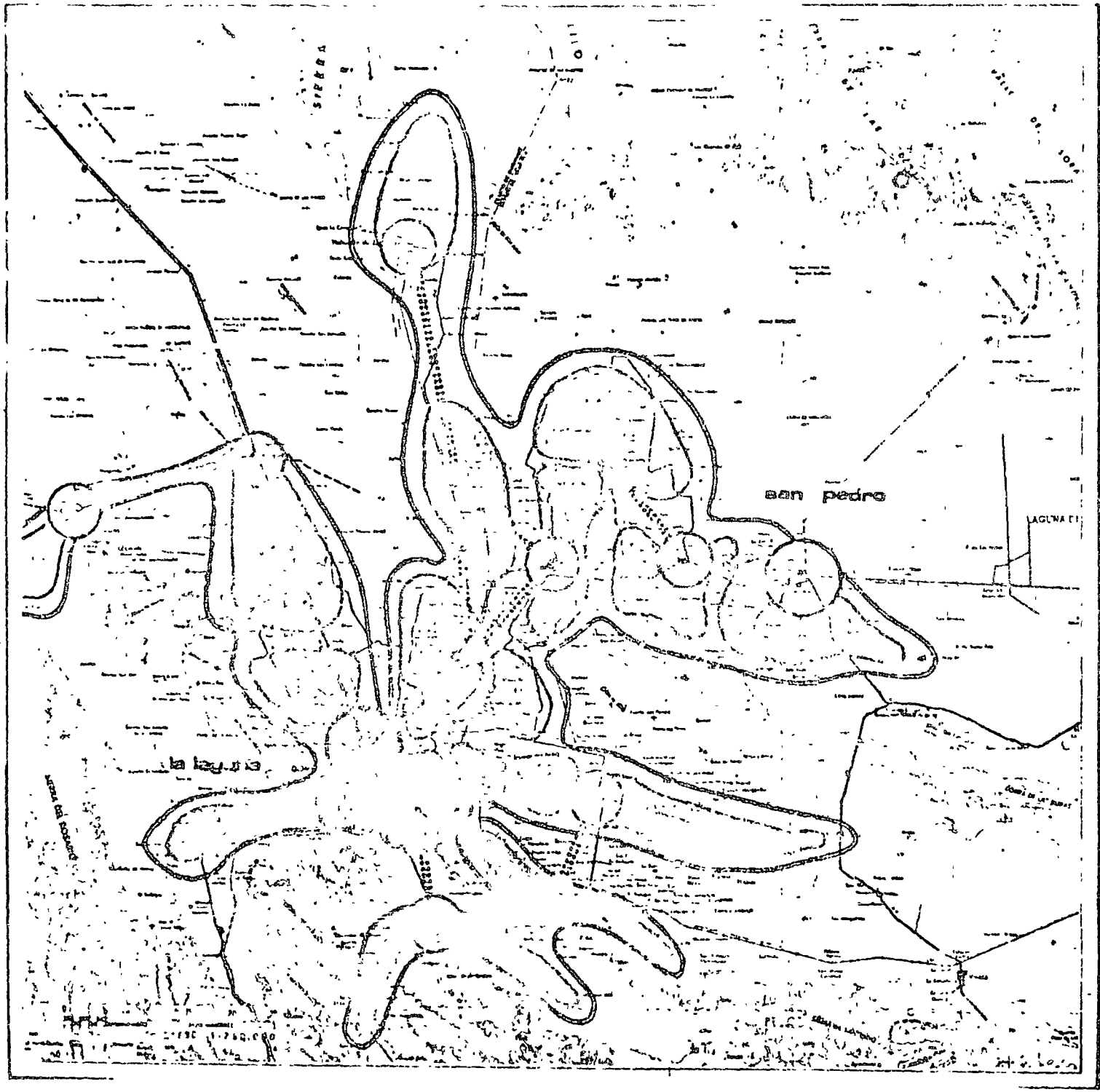
En los planos 3 y 5 se localizan las proposiciones de acciones a realizar, estas propuestas por parte de los COPRODE de Durango y Coahuila y de acuerdo a la problemática sentida durante las investigaciones, análisis y diagnóstico de la zona efectuadas por parte de SAHOP y directamente por la Subdirección General de Planeación Territorial de Zonas Conurbadas.

Es importante hacer énfasis en que los planteamientos propuestos son a un primer nivel de aproximación, resultado de la información que se tiene a la fecha y de ninguna manera podrán tomarse como definitivos. Dichos planteamientos estamos concientes que deberán sufrir modificaciones, producto de nueva información y sobre todo a la luz del trabajo interdisciplinario que llevará a efecto la Comisión de Conurbación por medio de su Secretariado Técnico.

BASES
Y LINEAMIENTOS

LAMINAS DE REFERENCIA

ANEXO



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

zona conurbada de la laguna

URBE
SUMA DE 2 SISTEMAS
SERVICIOS INTEGRALES NIVEL SUPERIOR

SISTEMA
SUMA DE 4 SUBSISTEMAS
SERVICIOS INTEGRALES NIVEL MEDIO

SUBSISTEMA 1
SUMA DE 4 SUBSISTEMAS
SERVICIOS INTEGRALES NIVEL MEDIO

SUBSISTEMA 2
SUMA DE 4 POBLACIONES
SERVICIOS INTEGRALES NIVEL BASICO

CD MAYOR

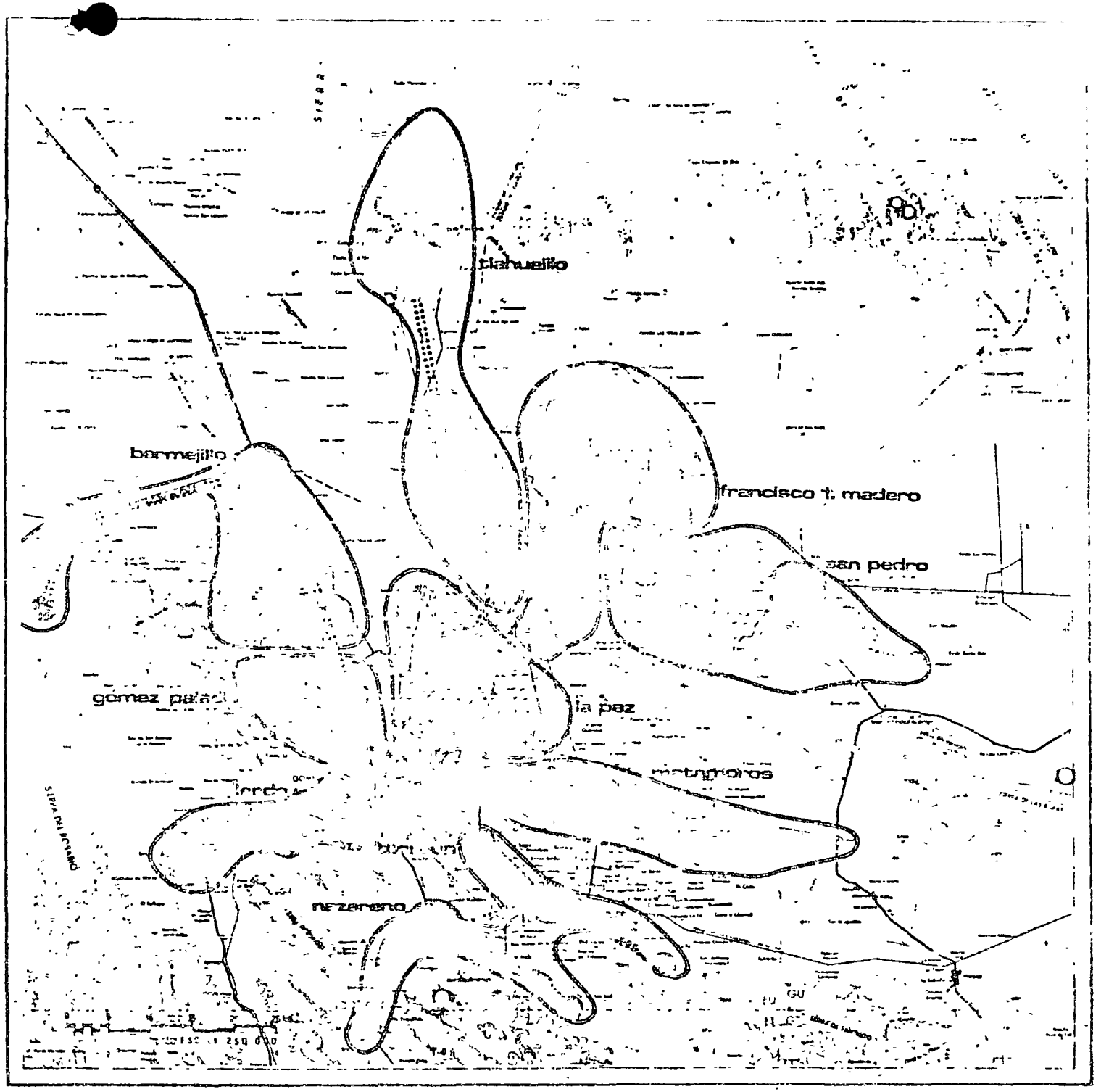
CD MEDIA

CD MENOR

ESTRUCTURA DE COMUNICACION DEL SISTEMA

BASES Y LINEAMIENTOS

sistema de ciudades



TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

zona conurbada de la laguna

UR DE
SERVICIOS AGROPECUARIOS

SISTEMA

SUBSISTEMA 2

METROPOLI

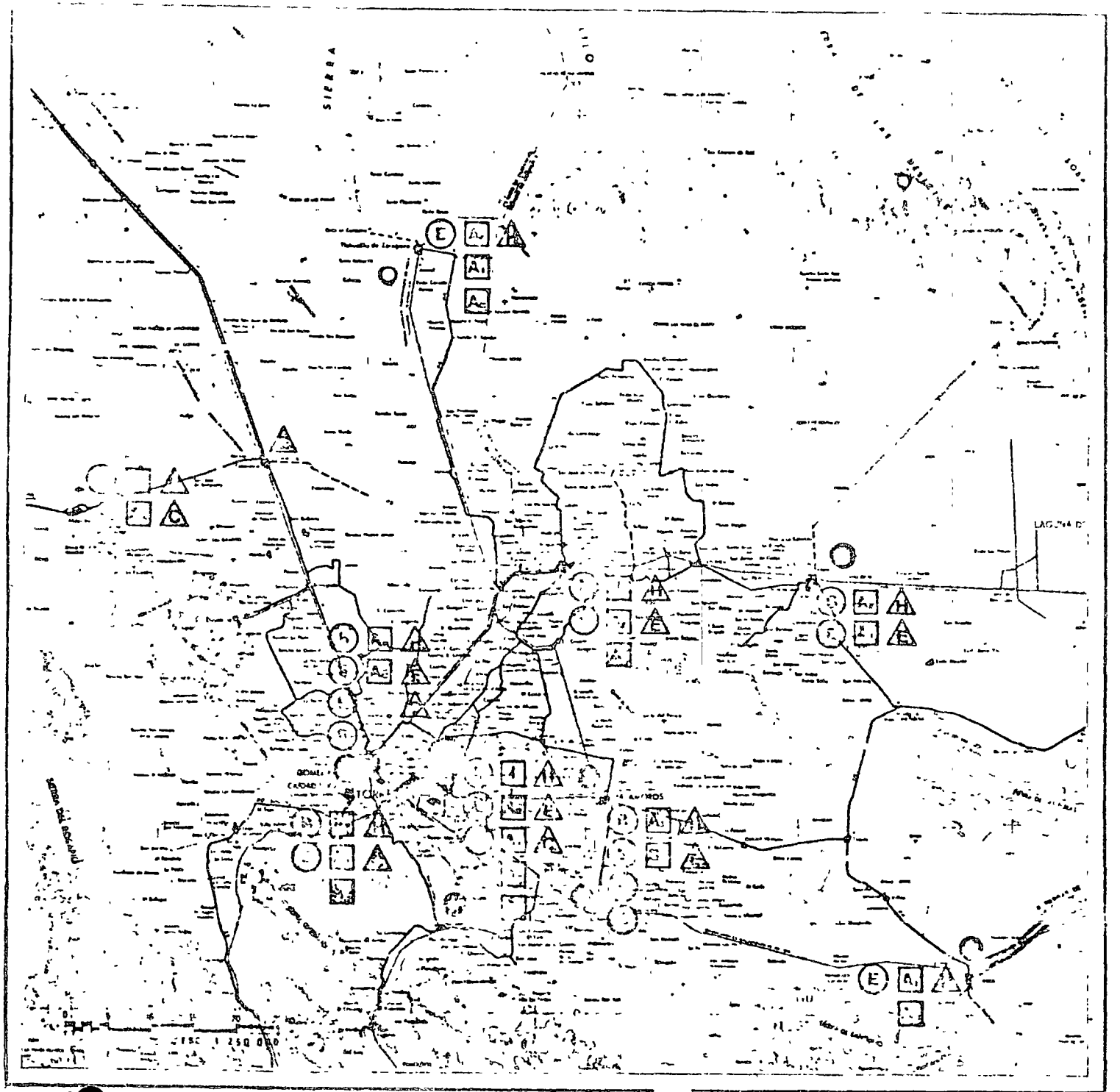
CD MAYOR

CD MEDIA

ESTRUCTURA DE COMUNICACION DEL SISTEMA

BASES Y LINEAMIENTOS

sistema de ciudades largo plazo



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

SUBDIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

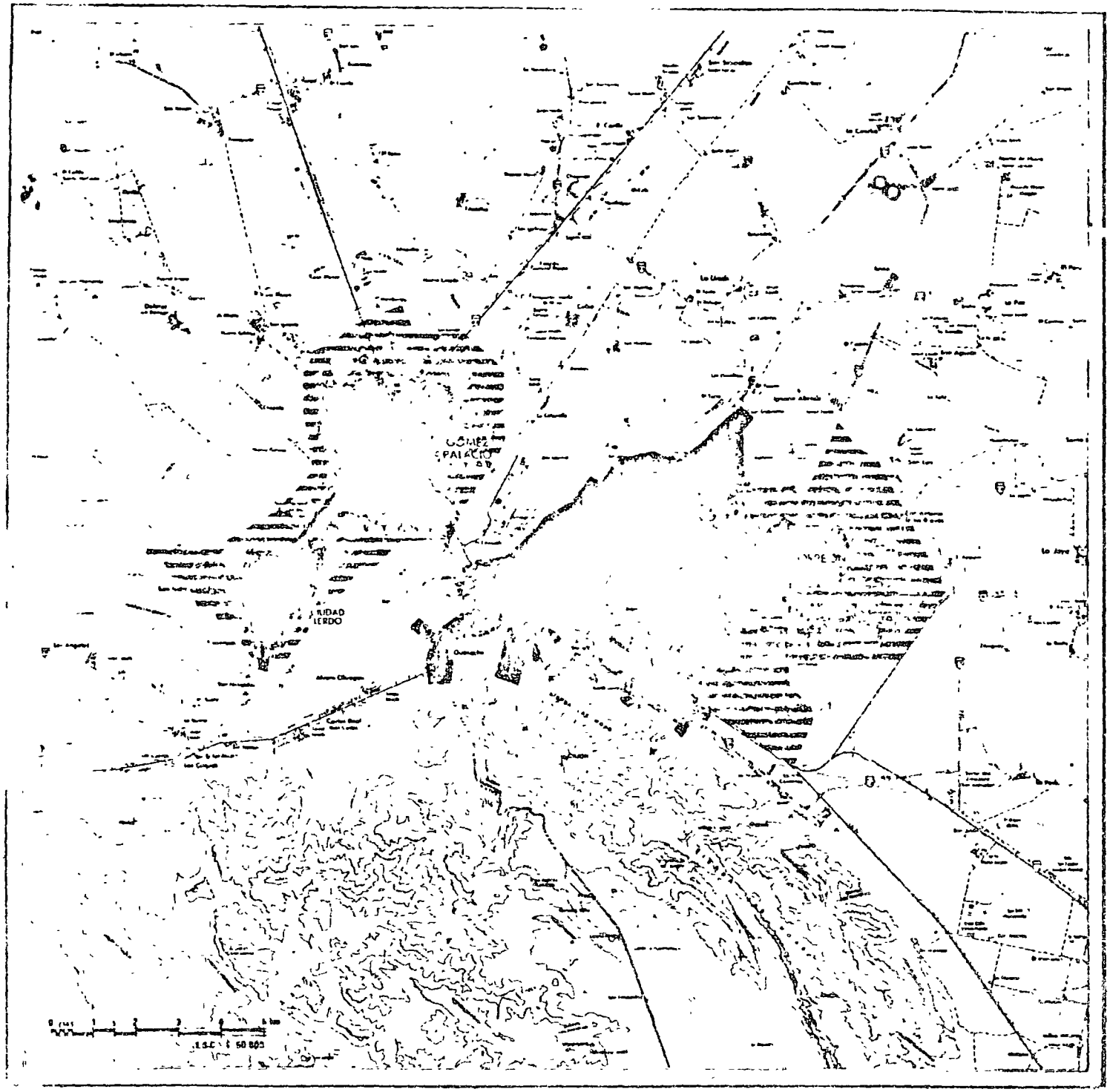
zona conurbada de la laguna

ASPECTOS HUMANOS

INFRA ESTRUCTURA

BASES Y LINEAMIENTOS

propuestas nivel regional



SUBSECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

DIRECCION GENERAL DE PLANEACION TERRITORIAL DE ZONAS CONURBADAS

zona conurbada de la laguna

CORTO PLAZO

LARGO PLAZO

ZONA INDUSTRIAL

ZONA RECREATIVA

LARGO PLAZO_

TORREON	500,000
G PALACIO	200,000
L E R D O	100,000
	800,000

CORTO PLAZO_

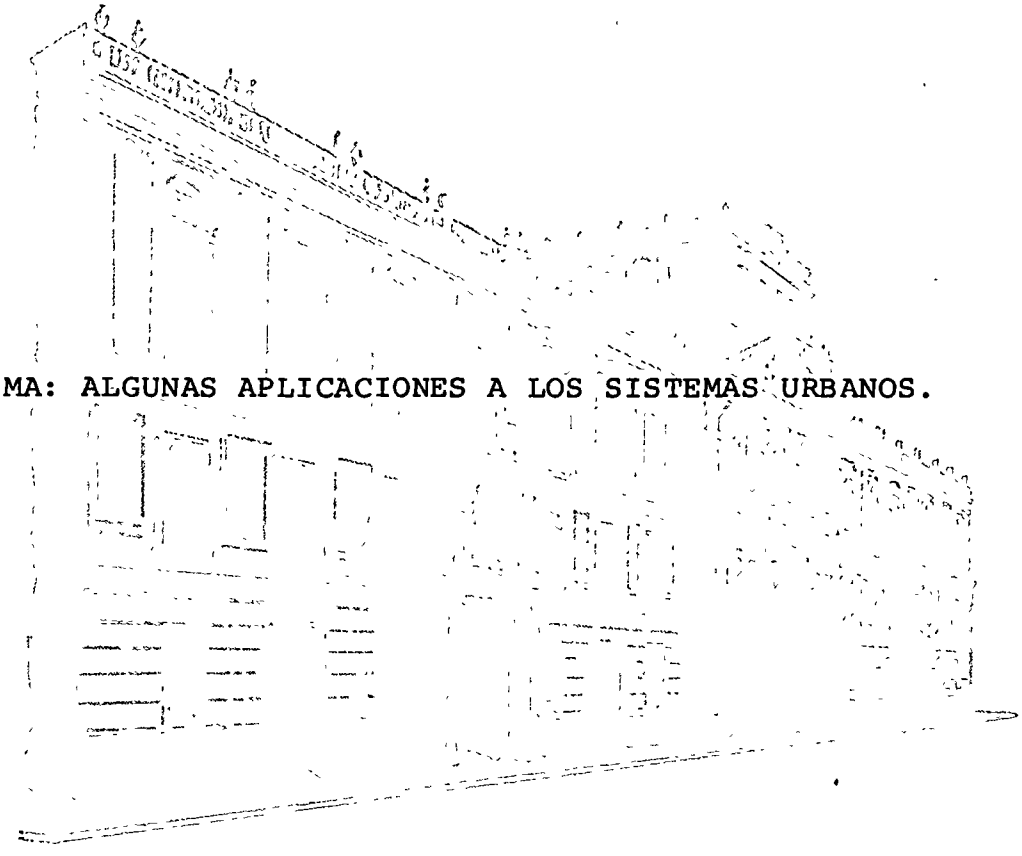
TORREON	300,000
G PALACIO	150,000
L E R D O	90,000
	540,000

LIMITES Y LINDEAMIENTOS

crecimiento urbano

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS



TEMA: ALGUNAS APLICACIONES A LOS SISTEMAS URBANOS.

DR. MELCHOR RODRIGUEZ CABALLERO.

JUNIO DE 1977.

" FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS "

ALGUNAS APLICACIONES A LOS SISTEMAS URBANOS *

p o r

MELCHOR RODRIGUEZ CABALLERO **

0. INTRODUCCION:

El tratamiento sistémico de las diferentes fases del desarrollo urbano planeado, ha recibido atención especial en las últimas décadas. Ello ha conducido a la creación de modelos cuya aplicación ha reportado beneficios importantes, según se mostrará en otras partes de este curso.

En esta exposición se presentarán algunos aspectos que el autor considera importantes en la aplicación del enfoque sistémico en las diferentes fases del desarrollo urbano planeado, dentro del contexto de México.

La exposición no pretende ser exhaustiva, y por lo tanto, se limitará a aquellos aspectos más relevantes. La no consideración de estos aspectos ha conducido en algunos casos a trastornos graves e inclusive al fracaso en la aplicación de técnicas que por otro lado deberían conducir a resultados exitosos.

---

* Trabajo presentado el día 5 de Agosto de 1977, como parte del curso " Fundamentos y Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas".

** Doctor en Ingeniería Civil; Ingeniero Consultor.

1. LOS SISTEMAS URBANOS:

Con fines de referencia, se enlistan a continuación algunos de los principales sistemas urbanos, mismos que formando parte de la ciudad como sistema son propiamente subsistemas de ésta:

1.1 SISTEMAS DE EDIFICACIONES:

- . Habitacional
- . Comercial
- . Industrial
- . etc.

1.2 SISTEMA VIAL:

- . Peatonal
- . Vehicular (Calles, Avenidas, Autopistas, etc)
- . etc.

1.3 SISTEMA DE AGUA POTABLE:

- . Fuentes y plantas de tratamiento.
- . Almacenamientos
- . Redes primarias
- . etc.

1.4 SISTEMA DE ALCANTARILLADO:

- . Vasos reguladores
- . Arroyos, ríos, canales
- . Colectores
- . Redes de recolección
- . Plantas de tratamiento
- . etc.

1.5 SISTEMA DE TRANSPORTES:

- . Automóviles
- . Camiones
- . Tranvías, trolebuses
- . Transportes masivos
- . etc.

1.6 SISTEMA DE COMUNICACIONES ELECTRICAS Y ELECTRONICAS:

- Teléfonos
- Telégrafos
- Telex
- Televisión
- etc.

1.7 SISTEMA DE SUMINISTROS:

- Electricidad
- Productos del petróleo
- Materias primas
- Alimentos
- etc.

1.8 SISTEMAS CULTURALES:

- De Educación
- Templos
- etc.

1.9 SISTEMAS DE BIENESTAR SOCIAL:

- De salud
- De recreación
- De diversión
- De eliminación y procesamiento de desechos
- Panteones
- etc.

1.10 SISTEMAS DE SEGURIDAD Y JUSTICIA:

- De Policía
- De Justicia
- Penitenciario
- etc.

1.11 SISTEMA ADMINISTRATIVO URBANO:

- Delegaciones
- Sistemas y procedimientos
- etc.

2. LA ADMINISTRACION DE LOS SISTEMAS URBANOS:

2.1 La administración de cada uno de los sistemas urbanos constitu ye a su vez un sistema, que pueda considerarse como El Sistema Administrativo Asociado a dicho sistema. La operación de éste depende de su sistema administrativo asociado, cuya operación- a su vez depende de los seres humanos que parcialmente lo inte gran. Este hecho, confiere al sistema urbano de

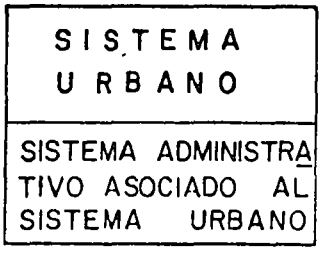


FIG. 2.1

referencia, todas las capacidades y debilidades de dichos se - res, y es, por tanto, la causa primordial del éxito ó fracaso- del mismo.

2.2 En el enfoque sistémico al desarrollo de los sistemas urbanos- planeados, deberá tomarse en cuenta al sistema urbano en cuestión y a su sistema administrativo asociado, como dos sistemas inseparables, como se muestran en el modelo de la Fig. 2.1

2.3 Las funciones básicas del sistema administrativo asociado a un sistema urbano determinado, en relación con las diferentes fases de su desarrollo, se indican en el modelo de la Fig. 2.2

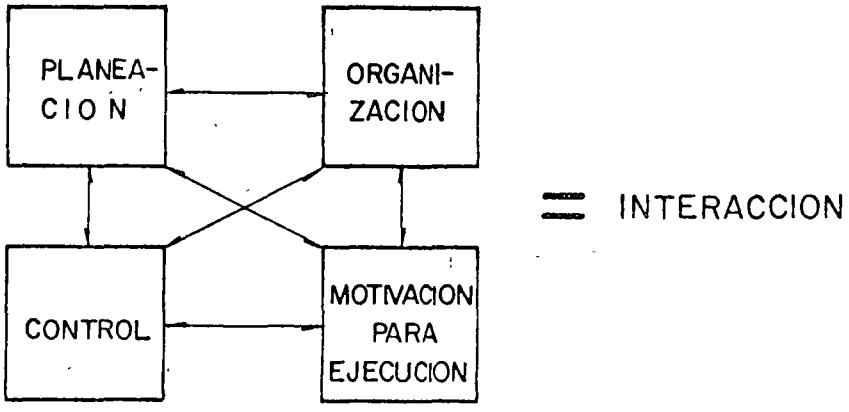
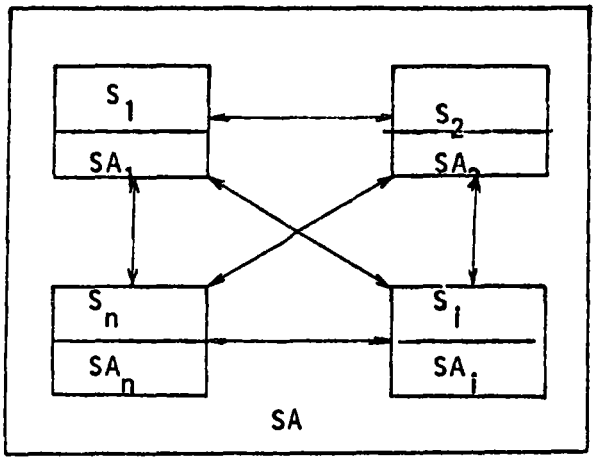


FIG. 2.2

3. LA CIUDAD COMO SISTEMA:

3.1 Utilizando el modelo de la Fig. 2.1, y designando con - - -- S_1, S_2, ..., S_i, ..., S_n, a los diversos sistemas urbanos,-- y con SA_1, SA_2, ..., SA_i, ..., SA_n a sus sistemas administrativos asociados correspondientes, y con SA al sistema administrativo de la ciudad, ésta puede representarse mediante - un modelo como el mostrado en la Fig. 3.1



4. EXTENSION TERRITORIAL DE UN SISTEMA URBANO:

4.1 El área servida por un sistema urbano puede quedar comprendida dentro de un municipio de un estado, Fig. 4.1,

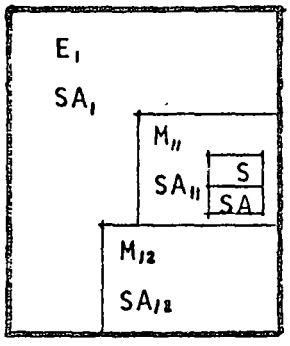


Fig. 4.1

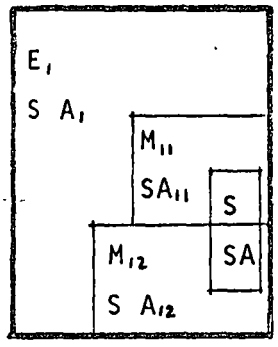


Fig. 4.2

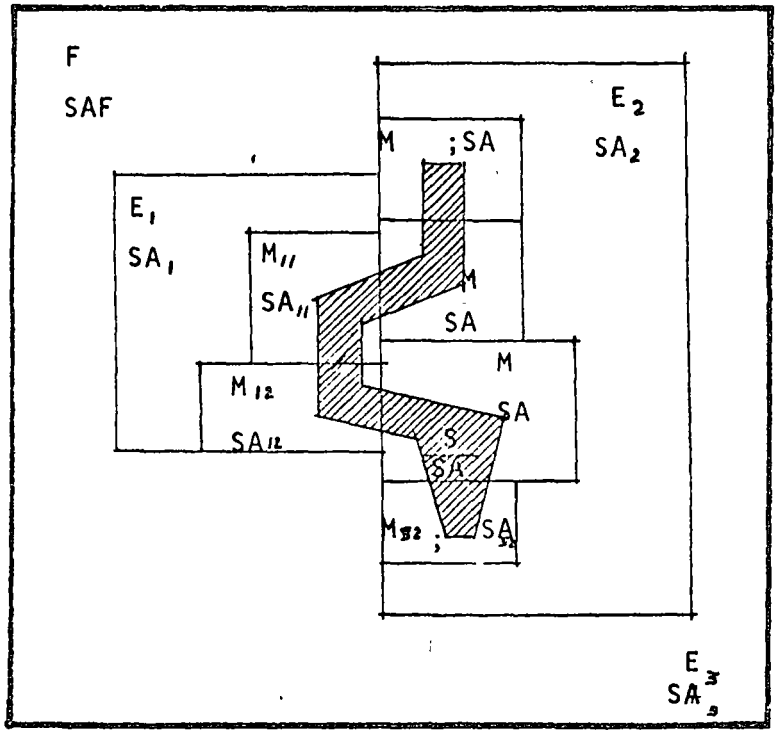


Fig. 4.3

NOTACION:

E_i, i- ésimo estado

SA_i, Sistema administrativo del i-ésimo estado

SA_{ij}, Sistema administrativo del j-ésimo municipio del i-ésimo estado.

M_{ij}, j-ésimo municipio del i-ésimo estado.

S, Un sistema urbano

SA, Sistema administrativo del sistema urbano en cuestión.

F, Federación

SAF, Sistema administrativo federal.

dentro de varios municipios de un mismo estado, Fig. 4.2, ó - dentro de uno ó varios municipios de varios estados, Fig. 4.3. En cada caso, deberán tomarse en consideración los sistemas - administrativos de los municipios y estados involucrados por- el área que sirve el sistema urbano en cuestión.

5. EL MEDIO AMBIENTE DE UN SISTEMA URBANO:

5.1 El medio ambiente de un sistema urbano está constituído por todos los sistemas que tienen interacción con él; entre los cuales se encuentran:

a). Los demás sistemas urbanos que interactúan con él

b). Los sistemas de otras clases que también interactúan -- con él. Entre estos sistemas se encuentran los siguientes:

b.1) SISTEMA ECOLOGICO:

TIERRA	. Geología . Suelos
AGUA	. Arroyos . Ríos . Lagos . Mares . Aguas subterráneas . Lluvias . Granizo y nevadas
AIRE	. Vientos . Huracanes
VEGETACION	. Arboles y plantas . Bosques
ANIMALES	. Habitantes . Otras especies animales

b.2) SISTEMA POLITICO:

Organización Política
Partidos
Lucha por el poder

b.3) SISTEMA JURIDICO:

Constitución
Leyes
Reglamentos

b.4) SISTEMA ECONOMICO FINANCIERO:
- . Explotación de recursos
- . Importac. y Exportac.
- . Comercio
- . Industria
- . Finanzas

b.5) SISTEMA CULTURAL:
- . Tecnología
- . Educación
- . Religión

b.6) SISTEMA SOCIAL:
- . Clases
- . Valores

5.2 La interacción entre un sistema urbano y su medio ambiente -- puede representarse como se indica en la Fig. 5.1

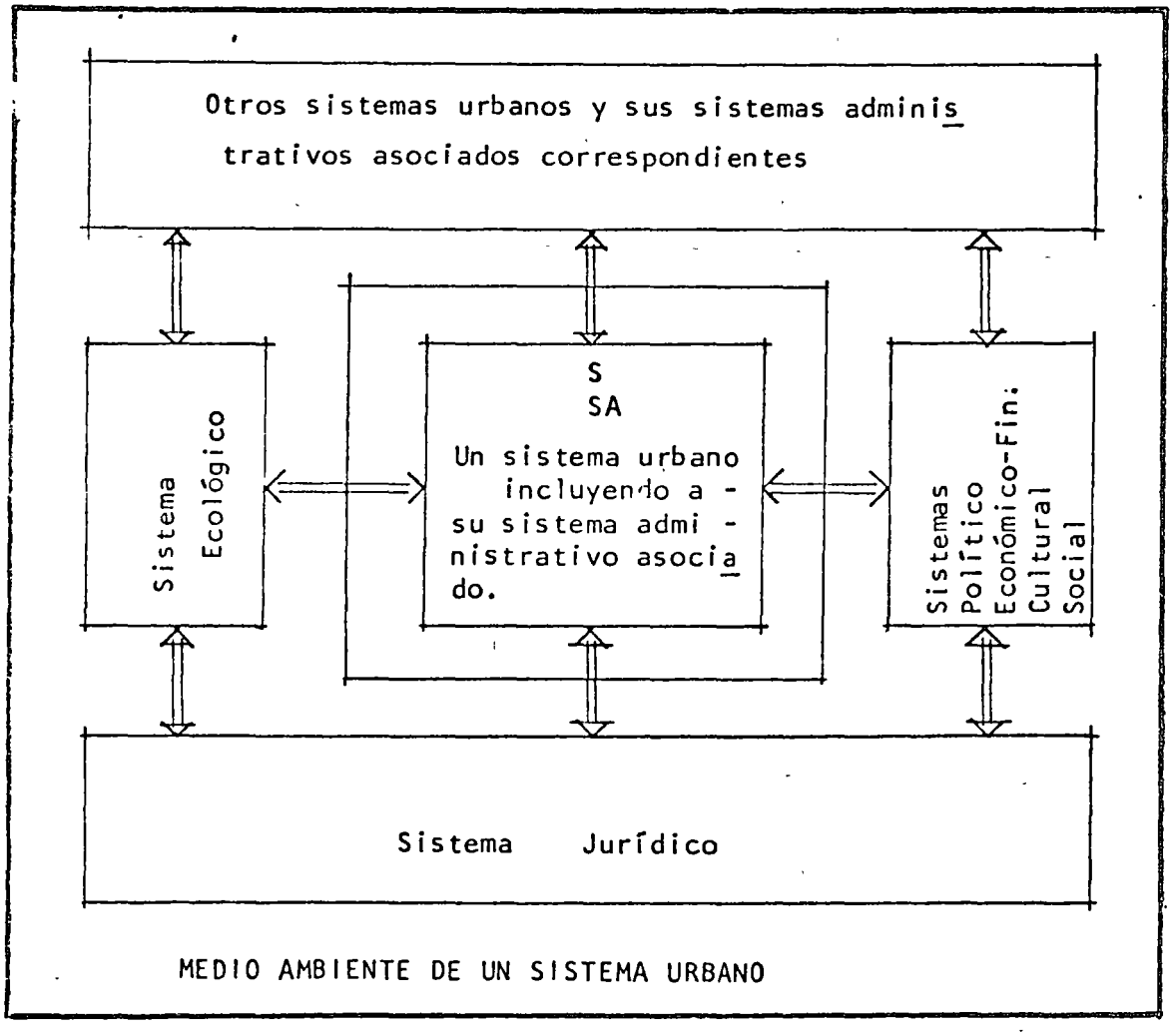


Fig. 5.1

y social) y consecuentemente es causa o motivación para la -- creación o adaptación de los sistemas urbanos a los que afecta.

6.3 Algunos fenómenos ecológicos, tales como sismos, inundaciones, huracanes, son de carácter repentino, de variación práctica - mente discontinua, y son también causas o motivaciones para - la creación o adaptación de los sistemas urbanos a los que -- afecta.

6.4 Las variaciones normales de la administración pública, son -- del tipo señalado en la Fig. 6.5.
Los desfasamientos At_1 y At_2 dependen del Estado de la Repú -

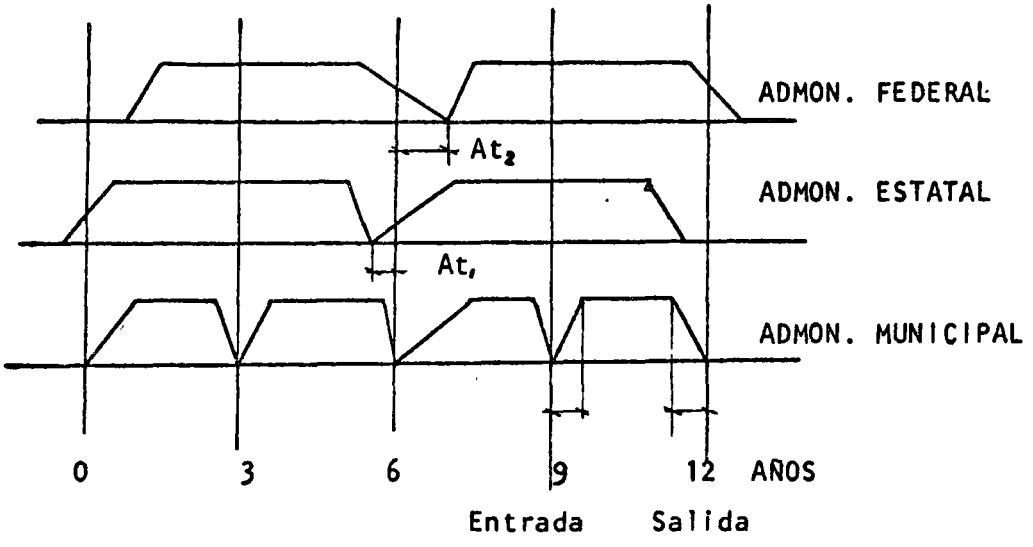


Fig. 6.5

blica de que se trate. La pendiente de los tramos de entrada de cada nueva administración, depende de la celeridad con que se organice, se informe y actúe y de las herencias de la administración inmediata precedente o de las administraciones -- precedentes. La pendiente de los tramos de salida de una -- administración, depende de las preocupaciones políticas de sus dirigentes para mantener la "cohesión" del grupo administra - tivo.

6.5 Además de las variaciones normales de la administración pública, suelen ocurrir con frecuencia variaciones debidas a cambios repentinos de presidentes municipales o de gobernadores de estados, o bien a cambio de funcionarios en organismos del sector público, cuya operación interactúa con los sistemas urbanos.

6.6 La aparición de nuevas leyes y reglamentos en el sistema jurídico, esencialmente de carácter discontinuo, es causa o motivación para la creación o adaptación de los sistemas urbanos a los que afecta. Considérese, por ejemplo, las leyes acerca del INFONAVIT, de FRACCIONAMIENTOS, de AGUAS, de ANTICONTAMINACION, de RADIODIFUSION, de ASENTAMIENTOS HUMANOS, de la REFORMA FISCAL, etc., y sus efectos en los sistemas urbanos.

6.7 Los fenómenos económicos mundiales y nacionales, inflación, escases de ciertas materias primas esenciales, devaluación de monedas extranjeras, incrementos de precios de mano de obra, energéticos, comunicaciones, etc., son causas de variaciones esencialmente discontinuas y de ocurrencia aleatoria, que afectan a los sistemas urbanos.

6.8 Algunas medidas financieras, también de carácter discontinuo, tales como el incremento en el porcentaje del encaje legal, la ley del Mercado de Valores, etc., afecten seriamente a los sistemas urbanos.

6.9 Los cambios tecnológicos, esencialmente discontinuos por lo que se refiere a algunos aspectos del desarrollo de sistemas urbanos, y la disponibilidad de procesadores electrónicos, han sido causa o motivación para adoptar o crear nuevos sistemas urbanos.

6.10 Los cambios rápidos en la composición de las clases sociales, y la mayor conciencia gubernamental de ofrecer mejores servicios a las clases económicamente débiles, han sido cause ó motivación para adoptar o crear nuevos sistemas urbanos.

6. VARIACIONES DEL MEDIO AMBIENTE DE UN SISTEMA URBANO:

6.1 Cada uno de los sistemas componentes del medio ambiente de un sistema urbano, está sujeto a variación. S_i E_i es un parámetro característico de estado de uno de dichos sistemas del medio ambiente, las gráficas de variación de ese parámetro pueden ser continuas (Con tendencias crecientes o decrecientes), Figs. 6.1 y 6.2, o mostrar discontinuidades, Figs. 6.3 y 6.4

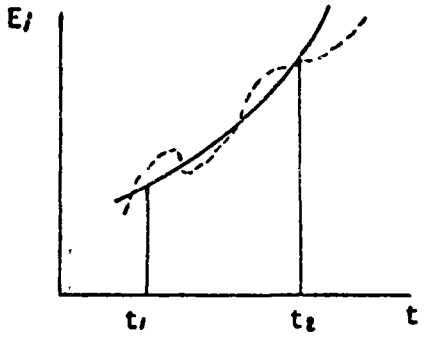


Fig. 6.1

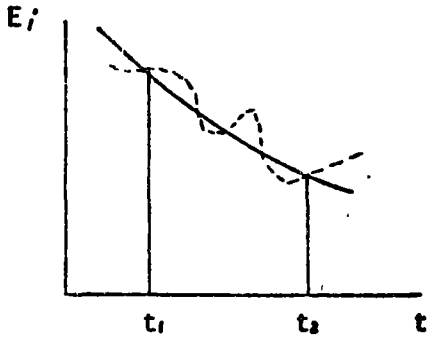


Fig. 6.2

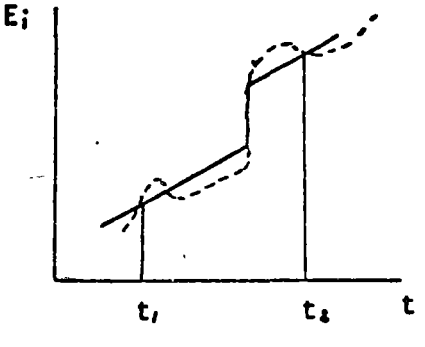


Fig. 6.3

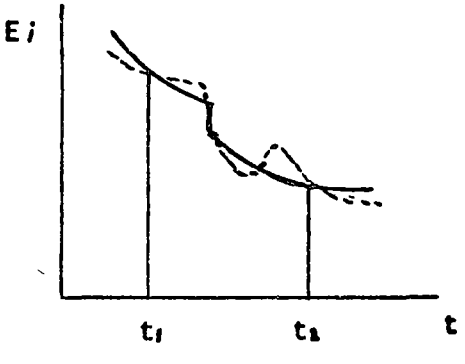


Fig. 6.4

6.2 El rápido crecimiento de la población urbana, componente del sistema ecológico, es causa de variaciones importantes en el mismo sistema ecológico y en los demás sistemas del medio ambiente (político, jurídico, económico-financiero, cultural

7. EL PROCESO DE DESARROLLO DE UN SISTEMA URBANO:

7.1 El proceso de desarrollo de un sistema urbano puede representarse mediante un modelo como el mostrado en la Fig. 7.1. Puede observarse en el modelo de la Fig. 7.1 que el proceso abarca todas las faces del sistema, desde la percepción de la necesidad de su creación, hasta el final de la vida del mismo. El modelo muestra retroalimentación en las diferentes fases del proceso, como base para el control de la consecución de los objetivos fijados para el sistema, ó para la modificación de dichos objetivos. Es decir, el modelo es cibernético.

7.2 El proceso de desarrollo de un sistema urbano concebido como se ilustra en la Fig. 7.1 puede durar períodos largos de tiempo (varias decenas de años), dependiendo de la rapidez del crecimiento de la demanda de los servicios proporcionados por el sistema, y de las posibilidades de su adaptación a dicha demanda.

7.3 En el proyecto de un sistema urbano deberán tenerse en cuenta las diferentes fases del proceso de desarrollo del mismo. Sinembargo, esto es difícil debido a factores tales como los siguientes:

a) Limitaciones en la capacidad de previsión de parte del personal que interviene en el proyecto del sistema, para períodos largos de tiempo, como los que requiere el proceso de desarrollo del sistema.

b) Imposibilidad de prever cambios en el medio ambiente del sistema, que como se ha dicho en la sección 6, pueden ser de naturaleza discontinua.

c) La imposibilidad de prever futuras decisiones por parte del sistema administrativo asociado al sistema urbano en cuestión, que pueden variar radicalmente las características del sistema en algunas de sus fases. Este hecho es de singular importancia en el caso de los sistemas urbanos que se desarrollan en países como México, en que los cambios de

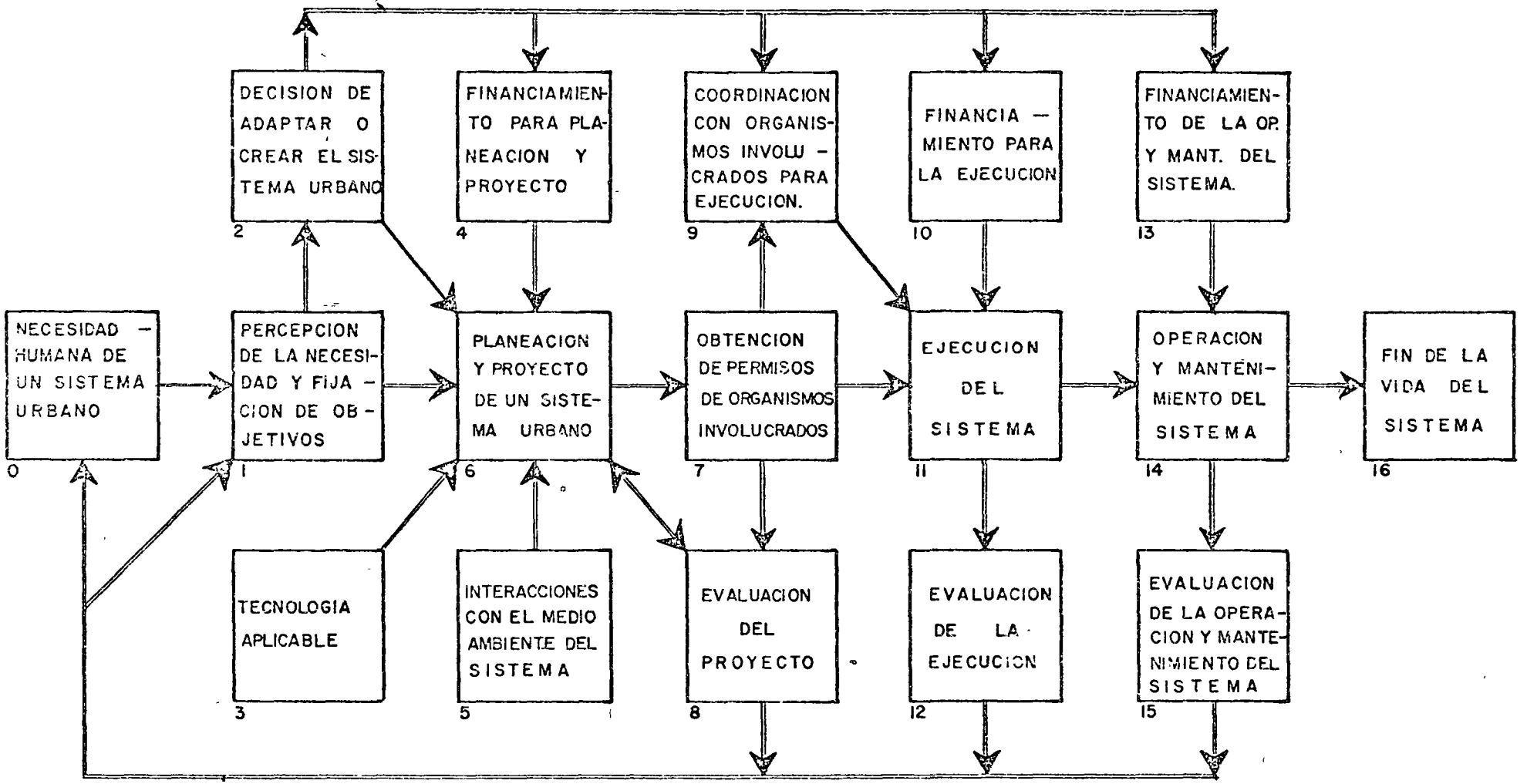


FIG. 7 1

7.1_ EL PROCESO DE DESARROLLO DE UN SISTEMA URBANO

los sistemas administrativos Municipal, Estatal y Federal provocan decisiones que afectan al sistema urbano en cuestión, y que en ocasiones pueden ser drásticas, erráticas ó sin ninguna consideración de los objetivos previamente establecidos.

d) Deficiencias de información y coordinación entre los sistemas administrativos asociados a los sistemas urbanos, y dentro de ellos mismos.

e) Exceso de énfasis en la fase de la ejecución de nuevos sistemas, respecto a la adaptación de sistemas existentes o a la operación y mantenimiento de éstos.

f) La utilización del sistema en forma no prevista durante la fase de proyecto del mismo.

7.4 La programación de las fases de un sistema urbano:

a) El programa general de desarrollo de un sistema urbano, puede representarse como se muestra en el esquema de la Fig. 7.2.

Como se ha dicho precedentemente, las duraciones de las distintas fases del proceso de desarrollo, pueden abarcar períodos largos de tiempo. Asímismo, los intervalos de tiempo Δt_1 a Δt_5, pueden ser de larga duración, y en algunos casos negativos, cuando las fases del proceso de desarrollo se traslapan.

b) Dado el caracter altamente cambiante del medio ambiente en que se desarrollan los sistemas urbanos en la actualidad, cuando alguno de los intervalos Δt_1 a Δt_5 se prolonga demasiado, se producen efectos detrimentes en las fases subsecuentes del desarrollo del sistema. Así, por ejemplo, si el período Δt_2 es largo, la planeación y proyecto de un sistema urbano puede no satisfacer las necesidades que lo motivaron, percibidas en el instante t_1

Asímismo, si el intervalo Δt_3 es largo, la obtención de permisos puede requerir modificaciones substanciales a los proyectos, motivados por cambios en la legislación aplicable.

FIG. 7.2.— PROGRAMA GENERAL DEL DESARROLLO DE UN SISTEMA URBANO

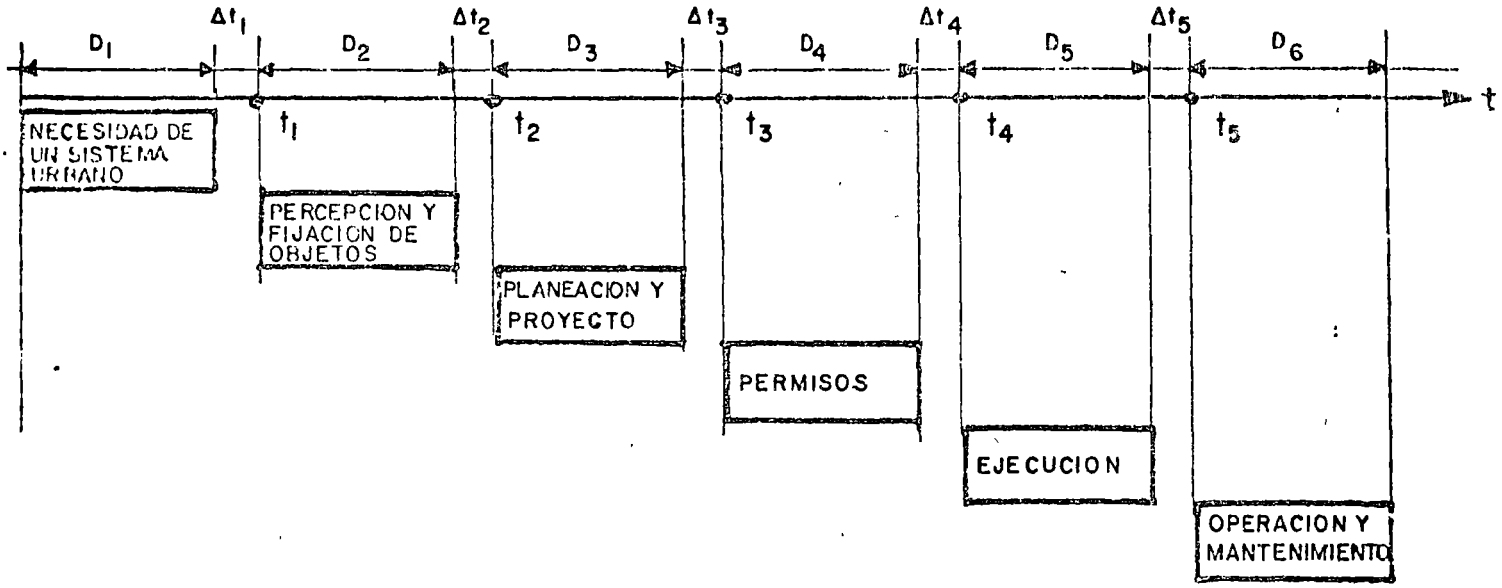


FIG. 8.1.— LA COMUNICACION, COORDINACION Y RELACIONES HUMANAS

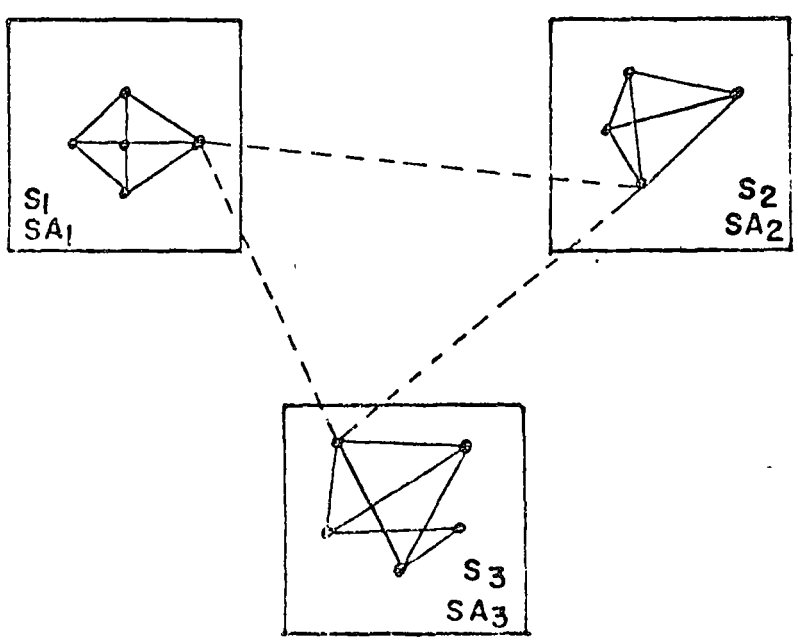


FIG. 8.1

Con frecuencia en nuestro medio y por diversas razones, la - iniciación de la ejecución de sistemas urbanos, se hace cuando no han sido terminadas las fases de planeación y proyecto y de permisos. Es decir, el instante t_4 se sitúa entre los instantes t_2 y t_3, con consecuencias graves para la - eficiencia del desarrollo posterior de los sistemas correspondientes.

Por otro lado es también frecuente en nuestro medio que la - fase de operación y mantenimiento no se inicie oportunamente. Como se sabe existen sistemas urbanos que pueden ponerse en- operación parcialmente antes de terminar la ejecución total- de ellos; en este caso el intervalo Δt_5 resulta negativo. - Por otro lado, cuando el sistema no puede ponerse en opera - ción sino hasta que esté totalmente terminado, el intervalo- Δt_5 es positivo. En este caso, cuando Δt_5 es demasiado largo, pueden producirse trastornos y daños importantes en el sistema que afecten su eficiencia de operación.

8. LA COMUNICACION, LA COORDINACION Y LAS RELACIONES HUMANAS ENTRE LOS - SISTEMAS ADMINISTRATIVOS ASOCIADOS A LOS SISTEMAS URBANOS.

8.1 En la Fig. 8.1 se muestra un esquema en el que las líneas de trazos representan canales de comunicación entre los sistemas administrativos asociados a los subsistemas urbanos S_1, S_2 y S_3 de - una ciudad. El buen desarrollo de los sub-sistemas considerados, exige que sus sistemas administrativos correspondientes manten - gan comunicación permanente y efectiva. En esta forma pueden lograrse los objetivos de los sub-sistemas y la coordinación de sus funciones en las diferentes fases de su desarrollo.

Es frecuente en nuestro medio que el desarrollo de un sub-sistema urbano, se pretenda llevar a cabo en alguna de sus fases sin establecer la comunicación entre su sistema administrativo asociado - y los sistemas asociados a los demás sub-sistemas de la ciudad, - por razones de los modelos de organización que prevalecen en los-

gobiernos Municipal, Estatal y Federal. Sin embargo, son patentes los esfuerzos actuales, por lo menos del Gobierno Federal, para establecer sistemas de comunicación efectivos que permitan la buena coordinación y relaciones humanas saludables, para el desarrollo de los sistemas en general, y en particular en los sistemas urbanos.

8.2 En la fase de planeación y proyecto de un sistema urbano, es necesaria una participación activa del grupo político integrado por los elementos decisionales de alto nivel que están relacionados con el sistema en cuestión. La falta de comunicación entre el grupo multidisciplinario de planeación y proyecto (requerido por el enfoque sistémico) con el grupo político relacionado con el sistema urbano correspondiente, provoca una disociación entre ambos, que se traduce en ineficiencias en el desempeño de las funciones de ambos respecto al sistema. Asímismo, es frecuente que la falta de comunicación efectiva entre los dos grupos conduzca a decisiones por parte del grupo político (presionado por la demanda de satisfacer alguna necesidad humana apremiante) que no consideren los trabajos o las posibilidades de trabajo del grupo de planeación y proyectos de los sistemas urbanos.

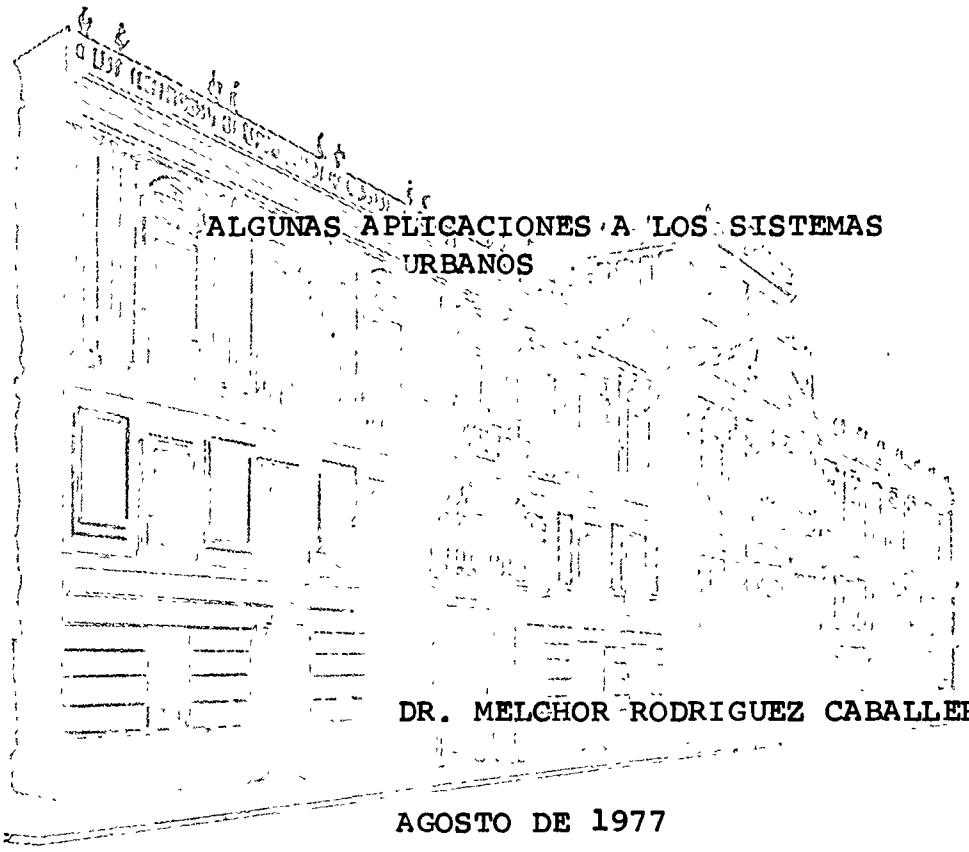
9. EJEMPLOS DE ALGUNOS MODELOS DE SISTEMAS URBANOS:

9.1 En el Anexo No. 1 se presenta el trabajo titulado " Development of a model of urban spatial structure", por DAVID CROWTHER y MARCIAL ECHENIQUE, contenido en el libro " URBAN SPACE AND STRUCTURES", editado por L. MARTIN y L. MARCH; Cambridge University Press, 1972.

9.2 En el Anexo No. 2 se presenta el artículo titulado " A SYSTEMS APPROACH TO URBAN REVIVAL", por L. ALFRED y D. MEADOWS, que forma parte del libro titulado " SYSTEMS APPROACH AND THE CITY", editado por M.D. MESAROVIC y A. REISMAN; North Holland Publishing Co., 1972.

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

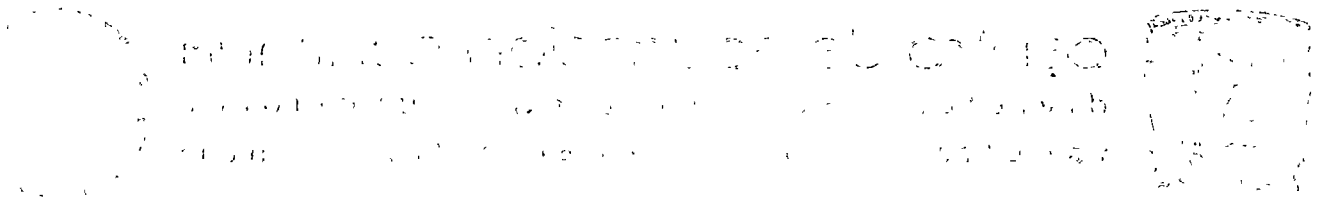
FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS



ALGUNAS APLICACIONES A LOS SISTEMAS URBANOS

DR. MELCHOR RODRIGUEZ CABALLERO

AGOSTO DE 1977



8. *Development of a model of urban spatial structure*†

DAVID CROWTHER & MARCIAL ECHENIQUE

Introduction

A city can be regarded as a complex system of interrelated elements such that a single change can lead to repercussions throughout the city. One of the principal aims of urban research is to discover which elements of the urban system are most significant and to determine the causal linkages between them. It will then be possible to explain the way in which an urban region responds to change and to predict the probable effect of different planning policies. Because of the number of elements and the complexity of their interrelationships, however, many researchers have come to the conclusion that it is only by using mathematical models to simulate the urban system that the intricate processes by which one element affects another can be analysed and understood. With the introduction of large computers, which can handle vast quantities of data and deal simultaneously with numerous variables, the construction of such models has become an important part of urban research.

In constructing the model presented in this paper, the particular aspect of the urban system that has been considered is its spatial structure, that is to say the location of different urban activities within a town and the spatial relationships between them. In terms of the classification put forward in the previous paper, 'Models: a discussion,' the model is type I3D' (see Fig. 7.3). First of all it is a static model, in that it simulates the equilibrium of the spatial system at a given moment in time. Secondly it is an explorative model, in that by systematically varying the inputs it can reproduce not only urban spatial structures which exist but also all those which logically could exist if those elements of spatial structure represented

† This essay is based on Land Use and Built Form Studies Working Paper No. 26: Development of a model of a town, M Echenique, D Crowther, W. Lindsay, 1969 As with the other work of the Urban Systems Study, gratitude is acknowledged to the sponsorship of the Centre for Environmental Studies

by the inputs were to be changed in corresponding manner. Thirdly it is a mathematical model, in that the elements of the spatial system are represented by mathematical symbols and the relationships between them by mathematical equations. Fourthly it is a deterministic model, in that for a particular set of inputs it produces a unique solution for the most likely state of the spatial system. Finally the model can also be called a simple model, in that relatively few elements of the spatial system are considered. It is worth emphasising that the model has been built for examining the spatial structure of individual towns and cities rather than of regions containing several urban settlements. Thus while subregional studies examine the distribution of population and employment within a region and the pattern of movement between towns, the concern of this study is with the detailed distribution of activity locations and traffic flows within the town itself and also with the ways in which the physical infrastructure of a town can be arranged to accommodate them. As will be shown, the intra-urban scale at which the model operates has an important bearing on the elements of the urban spatial system that need to be considered.

The paper takes the following form. In the first section, urban spatial structure is defined in terms of its component elements; this is the conceptual framework on which the model is based. In the next three sections the relationships between these elements are discussed and three submodels are presented: one for locating residential population, one for locating service employment and one for locating floorspace. For each submodel, different formulations are described and their merits assessed in terms of their ability to reproduce reality. Finally, in section five, the way in which the three submodels can be combined within a complete model of urban spatial structure is explained.

1. Components of urban spatial structure

It is possible to define urban spatial structure as the outcome of two interdependent processes by which first, artifacts and, second, activities are allocated to specific sites. The first locates the physical infrastructure (i.e. the stock of buildings, etc) in response to the aggregate demand for space made by all activities; the second locates the activities within this physical stock according to their functional relationships with each other. This distinction between the spatial organisation of activities and of the stock which accommodates them is well known (see Foley 1964). The overall process can be seen as symbiotic, with activities creating a demand for stock, which once built, constrains their location.

In general, activities are of two kinds: 'within place' and 'between place'

(see Chapin 1965 and Webber 1964). The first relates to localised activities – industrial, commercial, recreational and residential – the second to flows of all types that occur between 'within place' activities – of information, money, people or goods. 'Between place' activities, or flows, can be seen as an expression of the functional relationships between 'within place' activities. One way of classifying the latter is to group together in one category all those which have common functional relationships to other categories. An elementary classification often adopted is to consider the three categories of employment, residents and services. The links between them are usually expressed in terms of the number and lengths of trips from one to the other. Thus the journey from home to work links residents to employment; the journey from home to services links residents to services; and finally, the journey from work to services links services to employment.

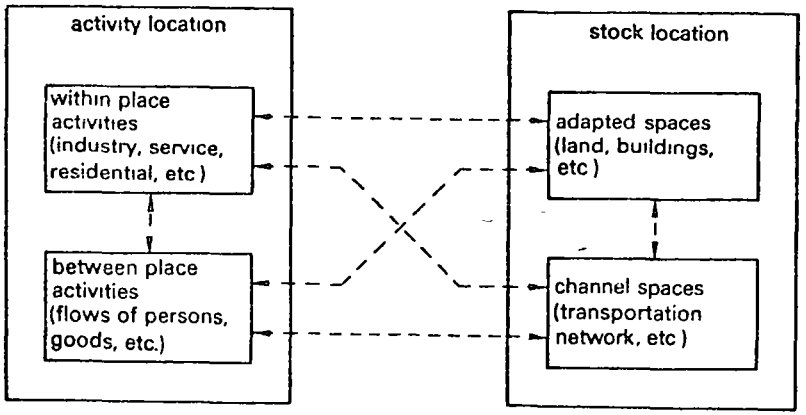


Fig. 8.1. Interaction of the components of the urban spatial structure.

'Within-place' activities can be further disaggregated into employment types, household types (subdivided into categories of socio-economic group, age and family structure) and service types (subdivided into categories of shopping at different hierarchical levels, schools, recreation, etc.). 'Between place' activities can be disaggregated into transportation modes (private vehicles, trade vehicles, etc), information flows (telephone, post, etc.) and public utilities (water, gas, sewage, etc).

The two corresponding kinds of physical structure which accommodate these activities are 'adapted spaces' and 'channel spaces' (see Lynch and Rodwin 1958). Adapted spaces refer to the buildings and land which contain 'within place' activities, while channel spaces refer to the transportation and communication networks which contain 'between place'

activities. Adapted spaces can be distinguished by structural type, age and condition. Structural type is important since certain types may only be able to accommodate particular activities, while others may be more adaptable. For example, a large industrial building is not likely to be used for housing or for shops, whereas houses are generally more easily converted into shops or offices. Channel spaces can also be distinguished by type and capacity, etc. Figure 8.1 is a diagram of this conceptual framework, with activities ('within place' and 'between place') on the left and with the corresponding stock (adapted spaces and channel spaces) on the right.

A comprehensive urban model must take into account the interactions between all four components of the urban spatial structure if it is to be useful. Past models have tended to be concerned with only the left-hand side of the diagram, and have considered activity location to be independent of stock location.† That is they have concentrated on the functional relationships which exist between activities, and have assumed that these by themselves dictate their location. Even though the number and length of trips between activities, which represent these relationships, are recorded within a given distribution of stock, it is assumed that they can be used to predict the location of new activities wit' out reference to a new distribution of stock. There is a tendency to regard empirically derived trip data as reflecting absolute laws of behaviour which will remain constant for any disposition of stock. This is surely a dangerous assumption. Trip data which show that certain percentages of the population locate at certain distances from employment cannot be taken as evidence that those people *wish* to locate at such distances, or do so simply to optimise their travel costs. These factors will certainly play a part in determining their location, but the availability of suitable accommodation cannot be ignored.

It would be valid to disregard the constraining effect of the stock if it was possible to demonstrate that a demand for space is automatically and instantaneously met by the supply. But as Foley (1964) has said: 'Physical facilities once developed tend to be either fixed or expensive to alter. The volumes, kinds and distribution of activities [on the other hand] may shift considerably over the years ' He concludes that 'the physical environmental pattern, once fixed, would seem to constitute a forceful determinant, having impacts or providing restraints on the spatial patterning of activities'. In most urban areas activities take place within a stock which has existed for a very long time. Activities change frequently at various rates of

† There are a few exceptions, but these are mainly partial models which do not attempt to describe the total urban system, for example, the San Francisco housing model (Robinson, Wolfe and Barringer 1965, and Wolfe 1967b), and transportation models in general, which tend to consider only the bottom half of figure 8.1.

growth, migration and decay, while the physical stock which contains them changes hardly at all. Parts of a typical town's road network have remained unaltered for centuries, and the average lifespan of a house in this country is over 60 years. Stone (1968) has shown that of today's housing (which constitutes by far the largest part of the total stock for all uses), more than 25% was built before 1881 and 75% before 1941. He estimates that the total future increase in housing stock will be less than 1% per annum for the next ten years, of which a sizeable proportion will be in the form of rehabilitation of old buildings. It is clear, therefore, that the stock of adapted and channel spaces can respond only very slowly to the shifting demands of activities, and that in consequence most activities can only locate at any one moment in time within an existing supply. In fact it is fair to say that the distribution of stock in a town does not merely constrain the location of activities, but in some ways dictates it.

Because the demand for stock cannot instantaneously be met by the supply, both activities and the stock itself have to adapt themselves in so far as they are able. Many activities have to locate in premises which were not specifically designed for their use, while others have to locate at less favourable positions within the town in order to find the particular type of accommodation that they require. Conversely, certain categories of stock are capable of being converted from one use to another. In many English towns today, a high proportion of the shops and offices are located in converted houses. The adaptation of activities to the available facilities, and the complementary process of 'stock use succession', together represent the natural compromise solution to the problem of accommodating changing activities within a more or less static supply of stock.

The importance of taking the supply of stock into account will vary to some extent according to the scale at which a model operates. At a sub-regional scale, it is probably safe to assume that, for example, straight line distances do not differ drastically from actual road distances. But even at this scale, it is difficult to achieve the correct distribution of activities without taking account of the varying capacity of different parts of a region to accommodate them. When a smaller, urban scale is adopted, as in this study, the supply of stock becomes crucial. The differences between straight line and actual road distances can be quite appreciable in certain cases, and the creation or deletion of a link between two points in a town can considerably alter the overall pattern of accessibility. Similarly, the particular distribution of buildings and land available within a town heavily constrains the possible location of activities. At this scale it is therefore imperative to consider both activities and stock together as the two major, interdependent components of the urban-spatial structure.

2. Activity submodel: residential location

The discussion in the next two sections takes as a point of departure the Lowry model of Pittsburg (1964), which by virtue of its simplicity, elegance and versatility has had great impact. As Black (1962) has said, a promising model is one whose 'implications are rich enough to suggest novel hypotheses and speculations in the primary field of investigation'. The structure of the Lowry model is based on the functional relationships between three 'within place' activities: basic employment, service employment and residential population. Basic employment is that which sells its goods or services to customers coming from outside the town (e.g. manufacturing industry, large regional offices, universities, etc.), while service employment is that which sells its goods or services to customers from the town itself (e.g. shops, smaller offices, schools, etc.). Basic employment can also be thought of as that employment whose location cannot be attributed solely to accessibility to local markets (see Garner 1967 and Massey 1970). The Lowry model takes as given the location of basic employment and simulates the location of residents and service employees from this given input. The location of residential population is considered to be dependent on employment location (i.e. on the location of both types of employment) and the location of services is considered to be dependent on both residential and employment location. This is represented diagrammatically in Fig. 8.2.

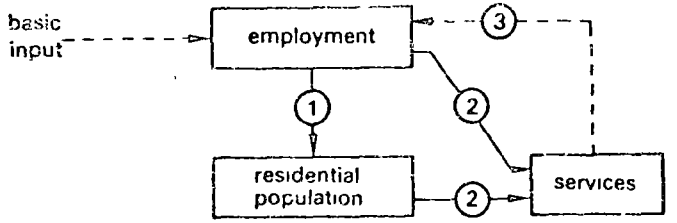


Fig. 8.2. The structure of Lowry's model.

In order to understand how the model works, one must imagine a town or urban region divided up into zones or cells. At the start all that is known is the number of basic employees in each cell. In the first iteration of the model, the residential population dependent on this basic employment (i.e. the basic employees and their families) is distributed to cells throughout the town (Step 1). Next the services dependent on these residents and on basic employment are distributed to cells throughout the town (Step 2). The service employment thus located becomes the input for the next iteration which determines the location of the housing and services for these additional workers (Step 3). Again, the residential population

generated by the new employment input is distributed (Step 1) and this in turn leads to more services (Step 2) which become the input for the next iteration (Step 3). In this way the number of residents and service employees in each cell gradually builds up with successive iterations, the residents being located with respect to employment, and services with respect to residential population, basic employment and service employment located in previous iterations. Since the numbers of residents and service employees being located in an iteration is always smaller than in the previous iteration, the model tends to converge, that is to say, the stage is reached when so few residents and services are being located that they can be ignored. At this point the model is said to have reached equilibrium and the number of residents and service employees located in each iteration is added up to produce totals for the residential population and service employment in each cell.

Lowry defines the location of residents as a function of the location of employment, using the simple gravity formulation:

$$R_j = \Sigma_i E_i u \; d_{ij}^{\;-\theta},$$

where R_j = residents living in cell j,
E_i = employees working in cell i,
u = labour participation rate, or the ratio of the total residential population of a town to its total employment,
d_{ij} = distance between cell i and cell j,
θ = a parameter which can be interpreted as corresponding to the 'significance' of distance (see below). Note that $d_{ij}^{\;-\theta}$ is the same as $1/d_{ij}^{\;\theta}$.
Σ_i = summation sign indicating that the value for $E_i u \, d_{ij}^{\;-\theta}$ is calculated for each cell in turn and then summed.

Put into words, this formulation states that the residential population in a cell j is proportional to its aggregate accessibility to the town's employment. Thus if a cell j is close to several cells i containing large numbers of employees it will have more residents than a cell which is further away from employment centres. By putting this general statement into precise mathematical form, one can effectively predict the location of residential population in a town. The equation is not 'normalised', that is to say, it is possible for the total of all values for R_j ($\Sigma_j R_j$) to be different from the total of all values for $E_i u$ ($\Sigma_i E_i u$). Since, by definition, $\Sigma_j R_j$ should equal $\Sigma_i E_i u$, some normalisation procedure needs to be adopted to overcome this problem. The technique used by Lowry is to consider the R_j values produced by the model as representing the potential of each cell to attract

residents. The total number of residents that need to be distributed ($\Sigma_i E_i u$) is then allocated in proportion to the potential of each cell, i.e.

$$\text{Residential population in cell } j = \frac{R_j}{\Sigma_j R_j} \cdot \Sigma_i E_i u.$$

A different method of normalisation is explained later.

If a town is divided up into cells or zones and if the number of employees in each cell is known, then the formulation above will predict the number of residents in each cell by distributing them from workplaces to surrounding cells according to the distance function (in this case $d_{ij}^{\;-\theta}$). If the value for θ is low (i.e. if distance is insignificant as a constraint on location), residents will be distributed more or less evenly throughout the town, while if the value for θ is high (i.e. if distance is a significant constraint), residents will be distributed close to employment centres. The distance between two cells, d_{ij}, can be measured either as the crow flies (as Lowry does) or via the transportation network, in which case the location of the nodes and links of the network need to be given as an additional input to the model. The latter is obviously preferable, especially at the town scale, since cells which are close geographically are not necessarily close in terms of accessibility. With reference to Fig. 8.1, the use of road distances relates the location of 'within place' activities with the location of channel spaces.

As pointed out by Garin (1966), the distribution of residents from workplaces is in fact simulating the journeys made in the real-world from work to home. In other words, the spatial relationship between employment and residential population can be expressed in terms of the numbers and lengths of work trips. For this reason it is often convenient in discussing residential models to refer to the workplace cell (cell i) as the cell of origin (i.e. where the 'trip' originates) and the residence cell (cell j) as the terminal cell or the cell of destination. By controlling the length of these 'trips', θ can be seen to represent (inversely) residents' willingness to spend money on the journey to and from work. As one would expect, experiments show that θ has a lower value for high socio-economic groups, who can afford to spend more money on travel and for whom distance is relatively insignificant as a constraint on location, than for low socio-economic groups. Referring to Fig. 8.1 again, one can see that Lowry's model can be used to relate the location of 'within place' activities with the location of channel spaces and with the 'between place' activities they contain.

Because of the relationship with journey to work behaviour, Lowry's model can be used to predict not only residential location but the traffic flows generated by work trips as well. Apart from being valuable in itself, this is useful for calibrating the model, that is to say for determining the value for θ. The simplest method of calibration is to find by trial and error

the value for θ which produces the most accurate results for residential location in an existing town. But if journey to work data are available (see Fig. 8.3 for example), a second value for θ can be found which produces work trip lengths closest to reality. If these two independently derived values for θ are in fact the same then the internal consistency of the model has been verified and one can have confidence that the model is correctly calibrated. This process of calibration is common to all spatial models and applies not only to the residential submodel but also to the service and stock submodels (which are explained later), since they similarly use a function of distance with 'cost-impedance' parameters for which values have to be determined Such parameters can be thought of as analogous to adjustment knobs on a piece of laboratory equipment which need to be set for a particular town before the model can be used. Although to begin with the parameters have to be determined in this way by testing the model results against reality for existing towns, continuing research is establishing norms for towns of different type for a range of different distance functions (such as the ones described later) and is also demonstrating the way in which they tend to change with time. In general all cost-impedance parameters, such as θ above, tend to decrease with time as increasing affluence enables more people to spend more on travel. The need to calibrate parameters of a model, therefore, does not prevent it from being used exploratively or for predictive purposes, especially as parameter values tend to vary only within fairly defined limits (even for towns of very different spatial structure) and the effect of assuming different values can in any case be tested.

In spite of its general applicability, several objections to Lowry's formulation have been raised;† two interrelated points can be discussed here. The first concerns Lowry's distance function which simply indicates that residential population decays in some form from workplace, producing a surface with peaks at employment centres, that can then be visualised as a tent with poles of different heights positioned at these centres with θ controlling the slope of the sides of the tent. This does not correspond to empirical evidence. Fig. 8.3 shows that the highest peaks of residential location do not occur at employment centres, but at some distance away from them; this is because in the central cells of a town residents tend to be displaced by employment activities At a macro-urban, or subregional scale this peak may occur within the cell of origin because of the latter's

† A common criticism is against the 'premise that residential location is always oriented to the breadwinner's place of work' (Lowry 1964) Also a certain proportion of households consist entirely of retired or economically inactive persons who do not go to work It has to be assumed that they are evenly distributed amongst all households

size, in which case the simple decay function does have a certain validity. But at a smaller scale it cannot justifiably be used †

The second point of criticism relates to the lack of terminal descriptors in the formulation A terminal descriptor is a variable included within the mathematical equation to represent the inherent attractiveness or capacity of each cell (in this case) for residential location. Thus terminal descriptors modify the distribution of residential population from workplaces by

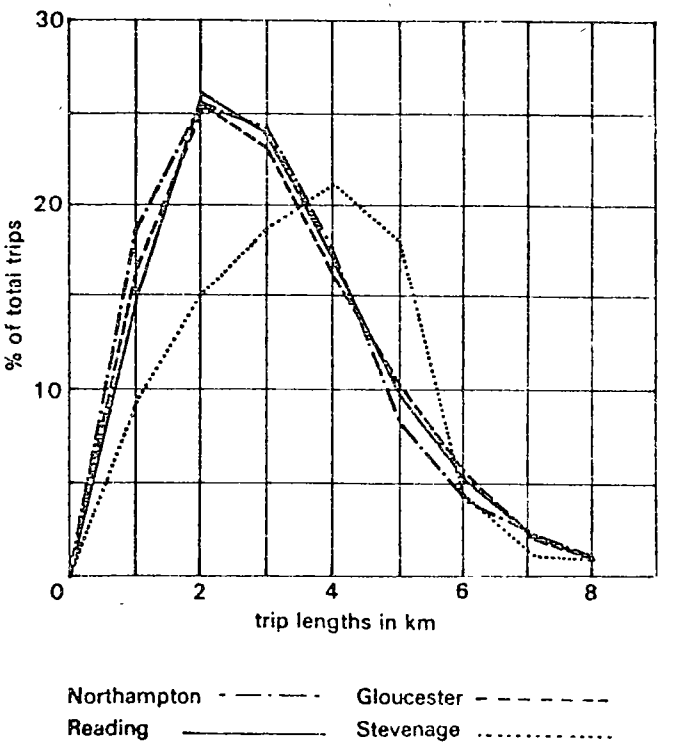


Fig. 8.3 Journey to work by all modes of travel

taking account of the varying capacity of each terminal cell to accommodate residents. As Lowry says: 'Our potential-formula distributes residents in a pattern which is radially-symmetrical with respect to workplaces: if the space available for residential use is radially asymmetrical, residential densities would vary without compensating variations in accessibility to the relevant workplace.' Empirical evidence shows that the space available for urban activities is indeed radially asymmetrical, due to the irregularity

† Even at subregional scale, it has proved necessary to resort to two separate functions, one for intra-urban distances, and another for inter-urban distances (see Batty 1969)

of the transportation network, topographical and planning constraints, and particularly to the unequal distribution of floorspace. Consequently, residential population does not distribute itself symmetrically around employment centres Actual road distances distort the pattern by making some cells less accessible to an employment centre than others, even though they may be closer as the crow flies. Topographical and planning constraints restrict the amount of land for residential development, and prevent residents from locating in certain cells altogether. Also the varying quantities of floorspace in each cell impose limits to the number of residents that can be accommodated in a cell, however accessible it may be. The urban plane is thus 'non-Euclidean, heterogeneous and aelotropic' (March 1969).

In an attempt to solve these problems, Lowry resorts to maximum density constraints applied across the urban surface. This can be expressed as:

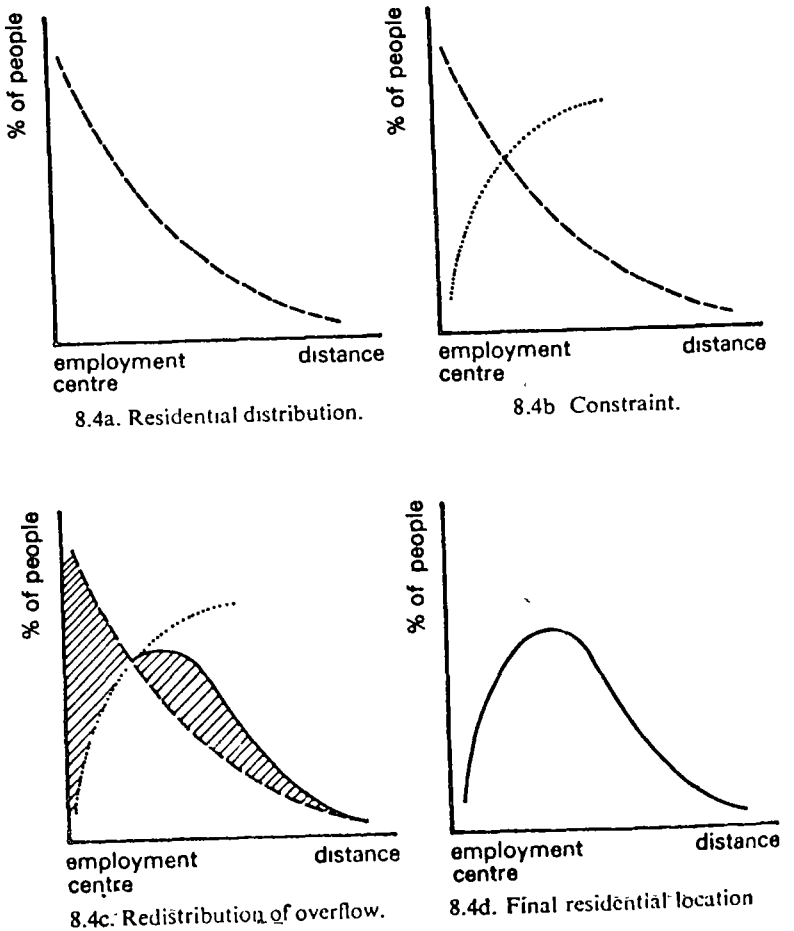
$$R_j \leqslant R(\max)$$

which states that the population in a cell j can never exceed a specified value R (max). Lowry argues that 'in order to prevent the model from generating excessive population densities in the vicinity of major employment centres, limiting values are determined outside the model, and imposed as constraints on the allocation process'. These constraints generate an overflow of residents which needs to be redistributed, and overflow is also produced when the services are allocated Lowry proposes two alternatives for dealing with the redistribution. The first method is to allocate the overflow to cells in proportion to the population previously located. The second simply allocates the overflow to the eight neighbouring cells. In either case, the resultant distribution will be different from the originally proposed distribution that the model is supposed to be obeying. Fig 8 4 demonstrates how the overflow, when treated in this way, converts a simple decay distribution into a 'gamma-type' distribution. Lowry thus deals with the first point – that a simple decay function does not reflect the distribution of residential population – but only by breaking his own rules As he admits, 'it would seem more in keeping with our interpretation to send this surplus exclusively to tracts whose accessibility characteristics are similar to those of the tract from which the households were turned away' But if he were to do so, he would not be able to cope with the overflow caused by the excessive peaking of the distribution function at the cell of origin, since there will not be any other cells with similar accessibility characteristics One solution is to use a distribution function which takes account of the increased opportunities for finding accommodation that accrue with distance from employment centres, such as the one suggested by March (1969). It is shown in its most generalised form on

page 189. A function of this kind will not by itself produce the right distribution of residents within an annulus, but at least the aggregate for the annulus as a whole will correspond to reality. The problem can only finally be overcome if, in conjunction with a March-type function, a measure of capacity is applied at the cell of destination In this case, the overflow will eventually be redistributed to the right cells, though only after many iterations.

An alternative approach is to incorporate terminal descriptors within the formulation of the distribution. Recent applications of the Lowry model†

Fig. 8.4. Diagrammatic representation of residential location submodel (Lowry).



8.4a. Residential distribution.

8.4b Constraint.

8.4c. Redistribution of overflow.

8.4d. Final residential location

† See Batty (1969) and Cripps (1969).

at a subregional scale have used a modified formulation with a terminal descriptor, which attempts to take into account the different capacities of each cell.

i.e. $R_j = \Sigma_i A_i E_i u W_j f(d_{ij})$,

where R_j = residents living in cell j,
E_i = employees working in cell i,
u = labour participation rate,
W_j = some measure of the capacity or attractiveness of cell j,
$f(d_{ij})$ = some function of the distance between cell i and cell j,
A_i = a normalisation term equal to $1/\Sigma_j W_j f(d_{ij})$.
This ensures that $\Sigma_j R_j = \Sigma_i E_i u$ by computing the attractiveness and accessibility of cell j as a proportion of the total attractiveness and accessibility of all competing cells j.†

This formulation ensures that residential population is allocated not only as a function of distance from employment, but also with respect to the capacity W of the terminal cell j as a proportion of the competing capacities of all other cells. The use of terminal descriptors in this way has several advantages Firstly, the residential population can be distributed asymmetrically around employment centres in response to the varying capacity of the surrounding cells Secondly, the rather cumbersome method of imposing maximum density constraints on residential land can be dispensed with, since the model will distribute the population in each iteration without creating overflow. Thirdly, the overflow created by the distribution of service employment can be sent back to the relevant employment centres and redistributed to the cells with available floorspace in the next iteration. Finally, since terminal descriptors take account of the varying capacity of each cell, the model builder is free to use cells of different size and shape as convenient. Without terminal descriptors all cells should theoretically be of approximately the same capacity in order to equalise the probability of occupation, which is in practice difficult to achieve with any precision. Equal sized grid cells have many advantages – their boundaries do not change and their constant size facilitates direct comparison on a common areal basis of different towns, of different plans for the same town and of different areas within a town – but they are not an operational necessity: terminal descriptors enable any type of cell or zone to be used (e.g. traffic zones, enumeration districts, etc.)

† Normalisation is thus achieved in a different way from Lowry (see pages 181, 182) by including the normalisation term within the formulation rather than by normalising the R_j values after they have been calculated.

Once the principle of terminal descriptors has been accepted, the only problem is to decide on a suitable measure of capacity. One method which has been suggested is to put W_j equal to the existing residential population in cell j, R'_j, but this has serious objections. As the function of distance approaches unity, the population in cell j that the model outputs is set to the value of W_j, or the actual population in cell j which the model is supposed to be simulating, i.e.

if $W_j = R'_j$ and $\Sigma_j W_j = \Sigma_i E_i u$
when $f(d_{ij}) \rightarrow 1$,
$R_j = W_j = R'_j$.

This means that the model is difficult to calibrate properly since the 'best fit' calibration will always tend to be such that $f(d_{ij}) \rightarrow 1$. Even if this were not so, the model cannot be used for predictive or explorative purposes. Since the future distribution of residential population is not known, there is nothing to use as a measure of the future attractiveness of each cell, and if the values of existing population are used instead as a rough approximation, the model will merely distribute the new population in proportion to the old. In any case, it is fair to question the validity of a formulation which requires as given inputs the very values which the model should be attempting to simulate.†

Instead of using the existing residential population as a measure of capacity, it is possible to consider the amount of residential land available in each cell as the terminal descriptor ‡ This would take account of the topographical and planning constraints which distort the distribution of residents, but not of the varying densities of development which occur on a unit of land according to its position in the town.

The proposed model uses as a measure of capacity the supply of available floorspace in each cell, the available floorspace being the total quantity of floorspace for all uses less the amount used by basic employment (which is given) and by service employment (which is determined by the service model) This variable accurately reflects the asymmetrical distribution of residential population around employment centres, the only differences being due to variations in residential space standard, and is also truly independent in that the existing residential population in each cell does not need to be assumed in order to determine it. There is thus nothing to prevent the model being used predictively, provided the future distribu-

† For an interesting discussion of this problem, and some possible solutions, see Batty (1969).

‡ An early model which uses the land available as a terminal descriptor is Hansen's (1959). Another measure, proposed by Lathrop and Hamburg (1965), is existing density.

tion of floorspace can be predicted (as it can – see section 4 below). A further important benefit of including floorspace within the formulation is that it brings together both the activity and stock components of urban spatial structure. The need to consider both components together was established earlier (see Fig. 8.1). The only drawback – if it can be called one – is that the residential model cannot now be considered independently from the service model, since both models need to be run concurrently in order to determine the proportion of the total available floorspace in each cell that is occupied by services. But this is no disadvantage either in operational terms, since the iterative structure of the Lowry model (Fig. 8.2) allows the residential and service models to be run concurrently, or, in conceptual terms, since the interrelated nature of the urban system and the invalidity of considering subsystems separately are fundamental tenets of urban research. It should come as no surprise therefore that the most satisfactory solution for residential location (i.e. using available floorspace as a terminal descriptor) can only be achieved within the framework of a comprehensive model in which stock location, residential location and service location are considered together.

There remains the problem of choosing a suitable distance function. In practice a wide range of different functions have been used by different model builders, but March (1969) has shown they can all be considered to belong to the same family of functions, which, in its most general form, can be expressed as:

$$d_{ij}^{\alpha} \exp(-\beta d_{ij}^{\theta}),$$

where d_{ij} = distance between cell i and cell j. (The exponential term, exp, is frequently used in distance functions on account of its mathematical flexibility; the function $\exp(-\beta d_{ij})$ produces a simple decay very similar to d_{ij}^{θ} for the same values of d_{ij}.)
α,β,θ = parameters

March shows how this function can be reduced (by setting α, β or θ to either zero or unity as appropriate) to almost any of the distance functions that have been used and he also demonstrates the great variety of distributions that the complete function with all three parameters can describe. With suitable values, for example, it can accurately describe the distribution of residents around employment, while, as shown earlier, Lowry's simple decay function ($d_{ij}^{-\theta}$) cannot. On the other hand a function with three separate parameters, each one affecting the other, is obviously more difficult to calibrate than a function with only one.

Fortunately, this dilemma is resolved by the use of terminal descriptors;

this is where the two criticisms of Lowry's formulation made earlier come together. By taking account of the varying capacity of each cell to accommodate residents, the peaks of residential distribution produced by the model occur not at employment centres, even when a simple decay function is used, but at some distance away from them in a way which corresponds to reality. The increased opportunities for finding accommodation that accrue with distance from employment centres are represented by the terminal descriptors rather than in the function of distance itself. Thus apart from allowing for the asymmetrical distribution of residential population around employment centres according to the availability of stock, the use of terminal descriptors leaves the model builder free to choose between a simple decay function of distance with one parameter for ease of calibration (see Hyman 1969), or, if even greater accuracy is required, a more complicated function with at most two parameters.

So far this discussion has been concerned with the operational problems of different formulations for residential location and their ability to produce accurate results in practice. Improvements to Lowry's original formulations, some of which have been suggested and used by other model builders, have been explained in terms of their relation to what actually happens in reality. It is therefore interesting at this point to compare the formulation put forward on page 187, which has been arrived at experimentally, with a formulation which has been derived from purely theoretical considerations by Wilson (1967 and 1971). Given an urban region divided up into cells and by considering the total number of possible permutations of the work trips that can occur between each pair of cells, Wilson has used the statistical theory of maximum entropy to show that the most likely value for the number of work trips occurring between one cell i and another cell j is:

$$T_{ij} = A_i B_j E_i P_j \exp(-\beta c_{ij}),$$

where T_{ij} = work trips generated between cell i and cell j,
E_i = employees working in cell i,
P_j = employees living in cell j,
c_{ij} = cost of travel between cell i and cell j,
β = a parameter,
A_i = a normalisation term equal to $1/\Sigma_j B_j P_j \exp(-\beta c_{ij})$ which ensures that $\Sigma_j T_{ij} = E_i$,
B_j = a normalisation term equal to $1/\Sigma_i A_i E_i \exp(-\beta c_{ij})$ which ensures that $\Sigma_i T_{ij} = P_j$.

Briefly, this theory shows that a system will tend towards that state which can be arrived at most easily, that is, by the maximum number of

ways. It is an extremely powerful theory in that one can derive an equation describing the likely state of a system without having to know very much about the system at the start. Thus the equation above can be derived knowing only that $\Sigma_j T_{ij} = E_i$ (i.e. that the sum of all individual work-to-home trips leaving cell i must equal the known number of employees working in cell i); that $\Sigma_i T_{ij} = P_j$ (i.e. that the sum of all individual work-to-home trips arriving in cell j must equal the known number of employees living in cell j) and that $\Sigma_i \Sigma_j T_{ij} c_{ij} = C$ (i.e. that the total money expended on all work trips must equal some finite sum – which does not need to be specified – at a particular moment in time). Given these constraints, the statistical theory of maximum entropy can be used to derive the equation shown. (For a full description of entropy-maximising principles, see Wilson 1967 and 1971.)

The above formulation, however, is concerned with the trips generated between cells, rather than the distribution of residents, and assumes that *both* the number of employees and the number of residents in each cell are known (hence the second normalisation term B_j). The formulation is thus doubly constrained in that both ends of the trip are fixed, whereas in a residential location model only the employment end of the trip is fixed at cell i, the object being to find the number of work-to-home trips ending in cell j. Wilson has therefore also derived a singly constrained formulation for residential location in which the second normalisation term B_j is dropped, i.e.

$$R_j = P_j u = \Sigma_i T_{ij} u = \Sigma_i A_i E_i u W_j \exp(-\beta c_{ij}),$$

where R_j = residents living in cell j,
u = labour participation rate,
W_j = attractiveness of cell j for residential location.

By comparing this formulation with the one on page 187, it can be seen that the two formulations, one derived experimentally, the other theoretically, show a heartening similarity, thereby inspiring confidence in the validity and applicability of both. The main difference between them is that while in practice different distance functions produce slightly better results according to particular circumstances, Wilson shows that the simple exponential function has the most general validity. His formulation also specifically requires the cost of travel as the measure of accessibility rather than any physical measures such as distance or time. The idea of using the cost of travel as a measure of accessibility is of course one which many model builders have suggested, but unfortunately it is a most difficult variable for which to collect data (as is time). For this reason, distance is the measure most commonly used, calculated either as the crow flies or,

more properly, along the transportation network. Since distance will always be a major component of the cost of travel, it is in any case valid to use distance as a proxy for travel cost. If greater accuracy is desired, an extra parameter can be used to take account of the fact that travel costs rise non-linearly with distance, i.e.

$$c_{ij} \equiv d_{ij}^{\theta}.$$

Another difference is that Wilson leaves unspecified the variable to be used as the measure of the attractiveness of cell j for residential location. As has been shown, the physical capacity of a cell is a crucial determinant of activity location at the urban scale and certainly the inclusion of the available floorspace in cell j as the W_j term in the formulation has produced accurate results. At the level of aggregation of a simple model, in which residents are not differentiated by socio-economic group or by family size, no other additional variables to describe the attractiveness of a cell for residential location seem to be required. This can be seen as the major contribution of the work of the Urban Systems Study to the problem of residential location models.

The final version of the residential submodel is therefore:

$$R_j = \Sigma_i A_i E_i u F_j^r \exp(-\beta^r d_{ij}),$$

where R_j = residents living in cell j,
E_i = employees working in cell i,
u = labour participation rate,
F_j^r = floorspace available for residents in cell j,
d_{ij} = distance via the transportation network between cell i and cell j (used as a proxy for the cost of travel between cells i and j),
β^r = a parameter representing the significance of distance as a constraint on residential location, or residents' willingness to spend money on travel to work,
A_i = normalisation term equal to $1/\Sigma_j F_j^r \exp(-\beta^r d_{ij})$ which ensures that $\Sigma_j R_j = \Sigma_i E_i u$

The model states that the number of residents living in a cell j is related to:

1. The number of employees working in cells i and their dependents ($E_i u$)
2. The supply of available accommodation in cell j (F_j^r)
3. The accessibility of cell j to the cells i containing employment ($\exp(-\beta^r d_{ij})$).
4. The supply of available floorspace in all competing cells j and their accessibility to employment ($\Sigma_j F_j^r \exp(-\beta^r d_{ij})$).

Given a town or urban region divided up into cell or zones, the inputs required for the model are:

the number of employees (basic and service) in each cell;
the labour participation rate;
the amount of floorspace available for residents in each cell;
the distance via the transportation network of each cell to all others;
the parameter β^r.

From these inputs the model outputs the number of residents living in each cell and the number and length of journeys to work between each pair of cells. For any particular set of inputs there is a unique result for residential location, so that by changing the inputs one can explore the effects of different planning policies on residential location and journeys to work. Although on its own the residential model requires several inputs and provides few outputs, it should be appreciated that within the context of the complete model of urban spatial structure, the floorspace and service employment inputs are provided by the stock and service submodels, while the transportation network and basic employment inputs are common to the model as a whole. The only additional inputs required specifically for the residential submodel are thus the labour participation rate and the value for β^r (which is usually obtained by calibration – see pages 182–3). The output of residential location is used as an input to the service submodel.

The model can be further developed by distinguishing: firstly, different types of household according to socio-economic group, labour participation rate, age and family structure; secondly different types of floorspace (as terminal descriptors) according to structural type, age and condition, thirdly, different accessibility and cost impedances for each household type; and finally, by considering accessibility not only to employment but to other determinants of residential location, such as schools, recreation, etc.†

† An interesting proposal for extending simple residential models is one by Wilson (1969), which disaggregates employment into four types 1 locationally unconstrained employees, 2 employees constrained to fixed residences, 3 employees constrained to fixed jobs, 4 employees constrained to both fixed residences and jobs At this level of disaggregation, an apparent difficulty of Wilson's formulation is that since it is initially expressed in terms of trips from one cell to another, both the cell of origin and the cell of destination have to be specified Problems thus occur in cases where there are more than one wage earner in a household, and when there is a need to consider accessibility not only to employment but to other determinants of location, such as elementary schools, recreation, etc Another interesting feature of his model is the way in which the cost of housing and the cost of travel are combined in the exponential term U[illegible]rtunately it will be difficult to test this formulation until there is better

3. Activity submodel: service location

Given the location of residents. Lowry encounters several difficulties in distributing services. Using a simple gravity function, his model tends to disperse these services evenly amongst the residential population without achieving the clusterings that occur in reality. In his own words: 'Experiments demonstrated that the model was not clever enough to do this. Consequently we shifted to a different approach using the retail cluster

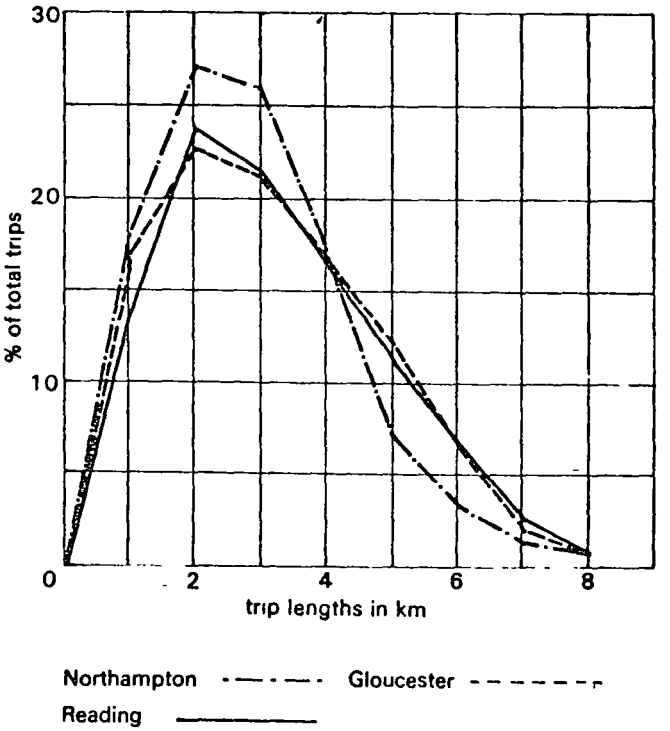


Fig 8 5. Journey to services by all modes of travel.

itself as the unit to be located' (Lowry 1964) All services are then divided into three categories – neighbourhood, local and metropolitan – and a minimum size constraint is applied to each category to obtain the required clustering If in a cell the number of service employees in any category does

data on rents and personal incomes related to location within the town The findings of Chapin and Weiss (1962), relating to the factors influencing the location of private residential development, could also be incorporated in a future model Some of the most important of these influences are distance to nearest main road, availability of [illegible]ic utilities (i e. water, sewage; etc) and amenity of neighbourhood See also t[illegible]k of Torres (1970), Anthony (1970b) and Apps (1971).

not reach the necessary size, these employees are redistributed to the clusters which have accumulated sufficient size. Lowry's service distribution takes into account the accessibility of services to both employees and residents, and he also varies the relative importance of residents and employees influencing the location of each type of cluster. This inclusion of the attraction of services to employment is an important feature at the urban scale, which tends to be ignored by subregional studies. The journeys between services and employment are considered to be short trips within the same cell (so that there is no need for a distance function in this part of the distribution), and the services are distributed from residents by what Lowry calls a differentiated product model,† calibrated from Pittsburg service trip data. The service distribution produced by this function conforms more closely to observed data than the distribution produced by a simple decay function (see Fig. 8.5). His formulation is:

$$S'^{k}_j = \alpha^k E_j + \Sigma_i \beta^k R_i f^k(d_{ij}),$$

where S'^{k}_j = potential of cell j to attract services of type k,
E_j = employees working in cell j,
R_i = residents living in cell i,
$f^k(d_{ij})$ = a function of the distance between cell i and cell j for each service type k such that: $ds/dx = (a-bx+cx^2)^{-1}$ where s is the total number of potential services of type k generated at a radius x from a resident living in cell i and where a, b and c are parameters,
α^k, β^k = parameters controlling relative importance of employees and residents respectively in influencing location of service type k.

These potentials are then converted into service employees by calculating the total number of service employees of type k that need to be distributed and allocating them in proportion to the potential of each cell, i.e.

$$S^k_j = \frac{S'^{k}_j}{\Sigma_j S'^{k}_j} \cdot \Sigma_j S^k_j$$

where S^k_j = service employees of type k working in cell j,
S'^{k}_j = potential of cell j to attract services of type j.

The total number of service employees of type k that the model needs to allocate ($\Sigma_j S^k_j$) is determined by multiplying the total residential population

† This function has been derived from Schneider's work (1959), and has similarities to the function proposed in this paper (see also March 1969)

of the town ($\Sigma_i R_i$) by the service employment to population ratio for each type k (v^k), i.e.

$$\Sigma_j S^k_j = \Sigma_i R_i v^k.$$

Within the context of the iterative structure of Lowry's complete model, $\Sigma_j S^k_j$ is determined within each iteration by multiplying the total number of residents to be located in that iteration (by the residential model) by v^k.

The minimum size constraint is expressed as:

$$S^k_j \geqslant S^k(\text{min});$$

otherwise

$$S^k_j = 0.$$

While it is reasonable to distinguish between different service categories, the eighteen parameters† which need to be calibrated make the model cumbersome to use as a simple explorative tool. Apart from this, there are several problems arising from the use of minimum size constraints. Firstly the minimum size constraints eliminate the small services dispersed amongst urban areas. Secondly, since they cause service employment to be shifted to other locations, the resultant distribution of service trip lengths does not obey the originally proposed distribution. Finally, there is no mechanism for distributing those services generated by residents who have been subsequently displaced by other uses, and as a result further distortions of the stated service trip distribution will occur.

Another approach to service distribution is a modification of the Lakshmanan and Hansen (1965) retail market potential model. Even though this model was originally intended to assess the retail sales of given service centres, it has been popular at subregional level for allocating service employment. The modified model can be expressed as:

$$S_j = \Sigma_i A_i R_i v W_j f(d_{ij}),$$

where S_j = service employees working in cell j,
R_i = residents living in cell i,
v = service employment to population ratio (i.e. the total number of service employees in a town divided by the total residential population),
W_j = some measure of the attractiveness of cell j for service location,

† For each of the three types of cluster, there are values for a, b and c to be calibrated in the distribution function, one minimum size constraint, one service employment to population ratio, and one weighting factor to distinguish between the patronage of residents and employees i.e. $3 \times 6 = 18$ parameters in all

$f(d_{ij})$ = some function of the distance between cell i and cell j,
A_i = normalisation term equal to $1/\Sigma_j W_j f(d_{ij})$ which ensures that $\Sigma_j S_j = \Sigma_i R_i v$.

This equation can be seen to be of the same form as the one for residential location explained on page 187. Substituting $\exp(-\beta c_{ij})$ (where c_{ij} is the cost of travel between cells i and j) for $f(d_{ij})$, it is also identical to the equation for service location derived by Wilson from the statistical theory of maximum entropy (in exactly the same way as for residential location – see page 190). Since distance can be used as a proxy for travel cost, Wilson's work has once more provided the theoretical basis for a formulation derived independently from considerations of operational success.

As before, however, the problem is to choose a suitable variable to use as the terminal descriptor W_j. In some subregional models the variable used has been the existing service employment in each cell, but the same arguments as were levelled against the use of residential population as a terminal descriptor in the residential model can again be raised, especially with regard to the use of the model for explorative purposes. Lakshmanan and Hansen take as their measure of attractiveness the existing retail floorspace in each cell, which to some extent parallels the use of available floorspace as the terminal descriptor for the residential model The problem here, however, is that in the context of the complete activity model the quantity of floorspace used by services in each cell is not known; if it was known one could simply multiply by an average service space standard to determine the number of service employees without resource to any model. In fact one of the objectives of the service model, on which the residential model relies, is to determine how much of the total quantity of floorspace in a cell is occupied by services. There is thus a 'chicken and egg' situation with each model requiring as an input the output of the other. The problem is most acute in the central cells of a town which contain a high proportion of floorspace but relatively few residents, since most of the floorspace is occupied by services If the total available floorspace in a cell were used as the terminal descriptor for the residential model (rather than the total less that used by service employment), the results would therefore be wildly inaccurate for these central cells Thus although the service model must be run after the residential model, in order for there to be residents to generate services, the residential model in its turn depends on the service model to determine the amount of floorspace in each cell that is truly available for residents In practice this dilemma can be resolved by using Lowry's iterative procedure for the activity model and, in order to understand how, it is worth making a brief detour to explain the detailed mechanics of this procedure.

In the first iteration of the activity model, basic employees (whose location is given) generate residents who are distributed using the total available floorspace in each cell as the terminal descriptor (i.e the total for all uses less that used by basic employment). These residents then generate services which can be distributed, using the total available floorspace again as the terminal descriptor and allowing services to displace residents if there is not enough room for both. The residents displaced in this way must be returned to the workplaces from which they were distributed and the services they have generated must be identified and discounted In the next iteration, the successfully located services employees generate new residents and these, together with the old residents who were displaced in the first iteration, are distributed using a terminal descriptor which this time is equal to the total available floorspace less that used by both the service employees and the residents successfully located in the previous iteration. In this way the value of the terminal descriptor changes with each iteration. In the central cells, for example, the quantity of floorspace available for residents is pared down as more and more services are allocated there with successive iterations (attracted by the large quantities of available floorspace, which includes that used by residents since services take priority over residents), until, at equilibrium, the floorspace left over for residents is equal to the correct amount.

The problem with this procedure as it stands is that the use of available floorspace as the terminal descriptor does not by itself produce the right distribution of services and, since the two models are so closely interconnected, the wrong distribution of services will produce the wrong distribution of residents If the floorspace available for services is considered to be the total quantity of floorspace in a cell less that used by both basic employment and by service employment successfully located in previous iterations, then as more and more services are located in successive iterations the floorspace available for services will tend to approximate the floorspace available for residents. At equilibrium, therefore, the resultant distribution of service employment will far too slavishly follow the distribution of residential population. The problem is compounded in that, even when the quantity of floorspace used by services in each cell is known as a given input to the service model, the results are not entirely satisfactory. As Lakshmanan and Hansen admit, when describing their model for the Baltimore region (which used retail floorspace in each cell as a given input). 'The sales comparison at the C B D was inconclusive owing to the unaccountability of purchases made by workers and visitors.'

As the quotation above suggests, the problem can be resolved finally only by taking account of both the floorspace available *and* the patronage of services by employees. The importance of considering all three lin

between the boxes of Figure 2 (as Lowry himself does)† was discussed earlier. The proposed terminal descriptor for the service model is thus a combination of the employment located in each cell and the floorspace available in each cell. In order to reduce the two quantities to dimensionless units with the same scale of possible values, each one is expressed as a proportion of the total for all cells, i.e.:

$$W_j^s = \left(\frac{E_j}{\Sigma_j E_j} + \frac{F_j^s}{\Sigma_j F_j^s} \right)^{\alpha}$$

where W_j^s = terminal descriptor for the service model,
E_j = employees located in cell j; i.e., basic employment plus service employment successfully located in previous iterations,
F_j^s = floorspace available for services in cell j; i.e., total floorspace for all uses less that used by both basic employment and by service employment successfully located in previous iterations,
α = parameter representing the degree of service clustering.

With this function for the terminal descriptor the service model accurately simulates the location of services in a town ‡ The extra parameter α was found to be necessary in order to reproduce the degree of service clustering that occurs in reality. This clustering can be seen to be the result of two factors: the economies of scale (i.e. of selling more goods at cheaper prices) that tend to produce a concentrated pattern of large establishments at the most accessible point to the highest number of potential customers, and secondly the mutual advantages (i.e. of attracting each other's customers) gained by service establishments grouping together in one centre (see Cordey-Hayes 1968). It has to be remembered that while the residential model reproduces the dispersed pattern of residential location by distributing residents from concentrations of employment, the service model has the opposite task of reproducing a concentration of service employment from a dispersed pattern of residents Lowry was only able to achieve the required degree of clustering with a cumbersome system of minimum size constraints and a formulation requiring eighteen parameters (although, to

† Lowry (1964) quotes some evidence to show that in Pittsburg's central business district in 1961 'about 40% of the reported dollar value of department store purchases was attributed to persons whose primary reason for being downtown was work-connected'

‡ When the simple static model was run for Santiago, Chile (Echenique and Domeyko, 1970), no floorspace data were available, so that E_j, the total employment in cell j, was used for the W_j term This variable produced reasonable results in the case of Santiago, but in general it does not produce as accurate results as when the floorspace available for services is also taken into account

be fair, he was able to simulate the location of three types of services) The inclusion of only one extra parameter therefore seems reasonable, especially as no minimum size constraints are required Conceptually the extra parameter does not necessarily reduce the theoretical validity of the model with reference to Wilson's formulations derived from maximum entropy theory, since one is merely stating that the attractive power of floorspace and employment for services location is non-linear (i e. twice as much floorspace and employment is more than twice as attractive). In practice α appears to be reasonably constant for different towns, the value typically being between 1 and 2.

The final version of the service submodel is therefore.

$$S_j = \Sigma_i A_i R_i v W_j^s \exp(-\beta^s d_{ij}),$$

where S_j = service employees working in cell j,
R_i = residents living in cell i,
v = service employment to population rate,
W_j^s = the attractiveness of cell j for service location, equal to $[E_j/\Sigma_j E_j) + (F_j^s/\Sigma_j F_j^s)]^{\alpha}$
E_j = total employment in cell j
F_j^s = floorspace available for services in cell j
α = parameter representing the degree to which services cluster in order to achieve economies of scale,
β^s = parameter representing significance of distance as a constraint on service location, or residents' willingness to spend money on travelling to services.
A_i = normalisation term equal to $1/\Sigma_j W_j^s \exp(-\beta^s d_{ij})$ which ensures that $\Sigma_j S_j = \Sigma_i R_i v$.

The model states that the number of service employees working in cell j is related to:

1. The number of service employees required by residents living in cell i $(R_i v)$.
2. The accessibility of cell j to the cells i containing residents (exp $(-\beta^s d_{ij})$).
3. The attractiveness of cell j for service location as measured by the floorspace available for services and the employment located in cell j (W_j^s).
4. The attractiveness and accessibility of all competing cells j $(\Sigma_j W_j^s \exp(-\beta^s d_{ij}))$

Given a town or urban region divided up into cells or zones, the inputs required for the model are:

the residential population in each cell;

the service employment to population ratio;
the total employment in each cell;
the floorspace available for services in each cell;
the distance via the transportation network between each cell and all others;
the parameters α and β^s.

From these inputs the model outputs the number of service employees in each cell and the number and length of journeys from home to services between each pair of cells For a particular set of inputs there is a unique result for service location, so that by changing the inputs one can explore the effects of different planning policies on service location and on journeys from home to services. Within the context of the complete model of urban spatial structure, the residential population and floorspace inputs are provided by the residential and stock submodels, while the total employment input is generated from basic employment within the iterative structure of the model as described above. The transportation network is a common input to the model as a whole. The only additional inputs required specifically for the service submodel are thus the service to population ratio and the values for α and β^s (which are usually obtained by calibration—see pages 182–3). The output of service employment location is used as an input to the residential and stock submodels.

The model can be extended by disaggregating the services into a hierarchy of scale (e g. local, district and city serving) and by distinguishing at each level between different types of service (e.g. schools, shops, office, etc.) It is then possible to take account of the different functional relationships and space requirements of, say, schools as opposed to shops. In addition it would also be desirable to consider the accessibility potential of each type of service to different employment types and to different socio-economic groups, etc.

4. Stock submodel: floorspace location

In the preceding sections the importance of the supply of available stock as a determinant of the location of activities has been shown. It is clear that the stock is not located in response to the demands of activities at any one moment in time, for the vast majority of the stock has already been located in response to the demands of previous activities, aggregated over many years, and once built it cannot easily be changed The problem in this study has been to simulate what is in reality a dynamic process in a static model This has been possible owing to the enormous inertia of the physical structure of a ' ' which develops only slowly from year to year (see Stone 1968), whi maintaining its previous characteristics.

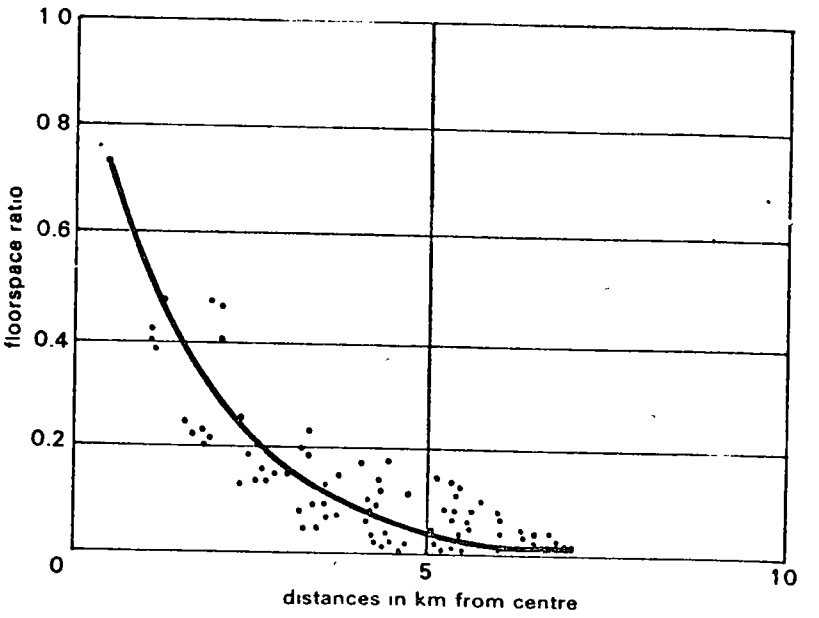


Fig 8.6a. Reading

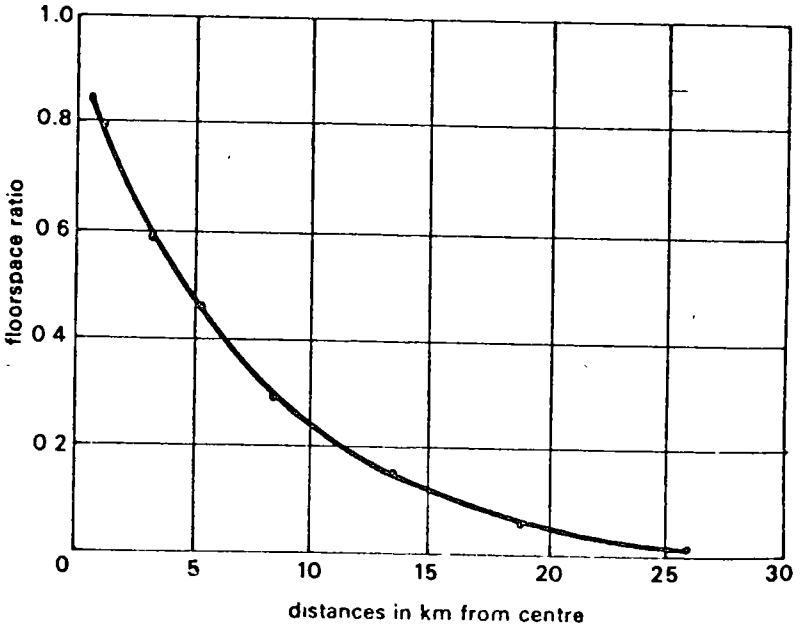


Fig. 8.6b. Chicago.

Fig. 8.6. Floorspace ratio decay from town centre.

There are two methods of approach. The first is to try to find empirical regularities in known data, following traditional population analysis, 'which asks not *why* births and deaths occur but simply observes that they do and seeks to determine if there are any statistical regularities to form a basis for prediction' (Bolan *et al* 1963). The second is to seek cause-and-effect explanations of recorded phenomena in an attempt to formulate a theory.

Following the first approach, we have found that the floorspace ratio (i.e. the quantity of built floorspace divided by the land available for development) decays exponentially from town centres. This has been tested in Chicago (Echenique 1968b) and in Reading (Echenique *et al.* 1969a) (see Fig. 8.6). From purely empirical evidence, therefore a model can be formulated, such that

$$f_j = \phi \exp(-\beta d_j),$$

where f_j = floorspace ratio in cell j,
d_j = distance of cell j from the town centre,
ϕ = a constant of proportionality (i.e for converting from units of distance to floorspace ratios),
β = a parameter.

An attempt was made in an earlier paper (Echenique 1968b) to link together the findings of other studies in order to explain this phenomenon. The main arguments are briefly summarised. Wingo (1969), Alonso (1964) and Brigham (1964) have established the theoretical relationship between transportation costs and land values, by which a non-linear increase in transportation costs from employment centres defines a land value surface which decays from such centres. Kain (1961) has related the land value surface to population densities, and explains the decay of population densities from places of employment in terms of the existence of different socio-economic groups and transportation costs. Kain shows that, faced with different expenditures on both transportation and housing, low-income groups will tend to locate at high densities close to employment and high-income groups at low densities away from employment. The empirical observations of Clark (1967) show that residential density does decay exponentially after a certain distance from employment centres, but fails to account for the depression in densities that occurs in the immediate vicinity of these centres As suggested earlier, these depressions are the result of employment activities acquiring residential floorspace and pushing the displaced residents further afield Thus the curve of residential densities is not simply exponential, but reaches a peak from which it falls as it reaches employment centres However, if Clark's exponential curve is extrapolated

upwards towards the axis, it will then in fact describe the distribution of floorspace ratios around the centres, or in other words, the physical remains of the residential population which has been displaced. This no longer residential floor area must be counted, of course, together with the floorspace in the centre originally built for and permanently occupied by employment. Once outside the vicinity of the centre, the exponential curve describes the distribution of both floorspace ratios and residential densities equally well, as one would expect. The two curves will not be identical, owing to the different residential space standards that occur as one moves away from the centre, but of the two, the floorspace ratio curve will be the more stable. As the population of the town increases, the floorspace ratio curve will lengthen to accommodate the new residents, but the residential density curve will change more radically, as additional residents are forced out of the central cells by the influx of new employment and services. The total amount of stock in these central cells, meanwhile, will increase only slowly with time for historical and technological reasons. Fig. 8.7 illustrates how the residential density curve will change with time in relation to the more slowly changing floorspace ratio curve.

From these considerations, it is clear that a more generalised version of the empirically derived formulation stated above can be written, i e.

$$f_j = \Sigma_i E_i \phi \exp(-\beta d_{ij}),$$

where f_j = floorspace ratio in cell j,
E_i = employment in cell i,
d_{ij} = distance between cell i and cell j,
ϕ = constant of proportionality,
β = a parameter.

This model distributes floorspace ratios around all cells i containing employment. The floorspace in cell j, F_j, can then be found by multiplying f_j by the land available for development in cell j, L_j, i.e.

$$F_j = f_j L_j.$$

The land available for development is defined as the total amount of land in each cell less all large open spaces. Thus land subject to geophysical constraints (e.g rivers, plains liable to flooding, quarries, etc.) and to planning constraints (e g public open spaces, areas of outstanding natural beauty, green belts, etc.) is excluded Agricultural and forest land and large private open spaces, such as golf courses, large playing fields, etc , are also discounted. What remains is considered to be the land available for development. It includes, for example, all private gardens attached to housing and land contained within plots occupied by employment activi-

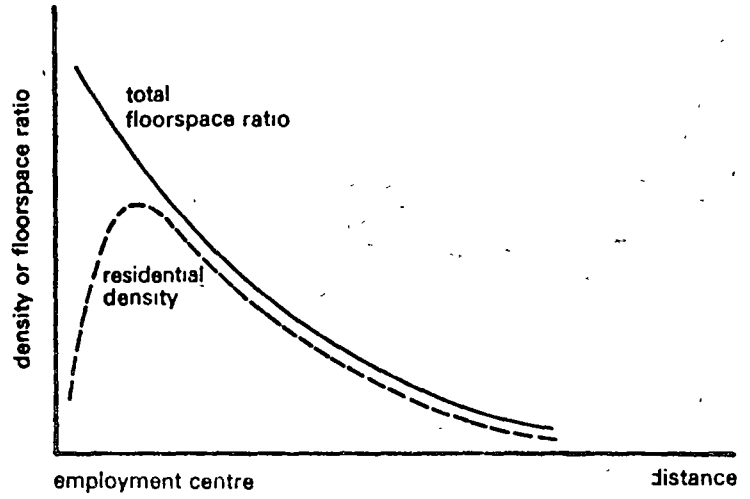


Fig 8.7a. Relationship between residential density and total floorspace ratio.

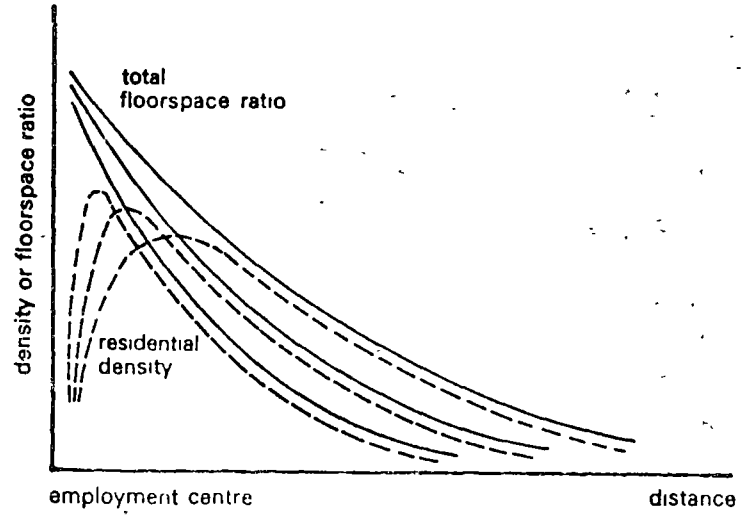


Fig. 8.7b. Population growth, density and floorspace ratio.

ties. Theoretically it should exclude the land occupied by channel spaces (i.e. roads and pavements, etc.) but for reasons of operational simplicity this is ignored in the simple model.

The main difficulty with the formulation above is that the resultant total quantity of floorspace for the town as a whole, $\Sigma_j F_j$, does not necessarily coincide with the total quantity of floorspace that the town actually uses, F. That is to say, if we know the value of the ratio, w, of the total floorspace in a town, F, to the towns's total employment, E (i.e. $w = F/E = \Sigma_j F_j / \Sigma_i E_i$), then the above formulation does not ensure that $\Sigma_j F_j = \Sigma_i E_i w$. This problem can be overcome by distributing floorspace, which can be normalised, rather than floorspace ratios, which cannot. The amount of available land in each cell is then used as the terminal descriptor.

The final version of the stock submodel is therefore:

$$F_j = \Sigma_i A_i E_i w L_j \exp(-\beta^f d_{ij}),$$

where F_j = the amount of floorspace for all uses in cell j,
E_i = the total number of employees working in cell i,
w = the ratio of total floorspace to total employment for the town as a whole,
L_j = the amount of land available for development in cell j,
d_{ij} = the distance via the transportation network between cell i and cell j (used as a proxy for the cost of travel between cells i and j),
β^f = parameter representing the significance of distance as a constraint on activity location.†

† Since the stock of floorspace in a typical town has been built up slowly over many years of continuous development, this parameter will be influenced by the willingness of the people in the town to spend money on travel at some time *before* the date for which the model is run, reflecting the time-lag that occurs between the creation of a demand for additional floorspace and its construction One would therefore expect the value for β^f to be slightly higher than for β^r (the cost-impedance parameter for residential location), as indeed it usually is As with β^r, one would also expect the value for β^f to decrease with time as affluence and the amount of money available for travel increases This trend is reinforced by the fact that as a town increases in size, the central cells gradually begin to reach their capacity (both economic and physical) to absorb additional floorspace For this reason an increasing proportion of new floorspace (i e additional to what is already there or what is being replaced) tends to locate in surrounding cells where there is more room for it and where it can be built at less cost In other words, the value for β^f will tend to be lower for a large city than for a small town. Thus if in Fig. 8.5 the two floorspace ratio curves are drawn to the same distance scale, the curve for Chicago starts only a little higher (in spite of being se teen times the size) and is considerably shallower (indicating a lower value for β in the curve for Reading. This reflects partly the greater affluence of the Chicago population and partly the economic and physical constraints on central development

This formulation has also been derived theoretically, using the statistical theory of maximum entropy, by March (1970).

The model states that the amount of floorspace in a cell j is related to:

1. The demand for floorspace generated by employees in cells i $(E_i w)$.
2. The accessibility of cell j to the cells i containing employment (exp $(-\beta^f d_{ij})$).
3. The attractiveness of cell j for development as measured by the amount of land available (L_j).
4. The attractiveness and accessibility of all competing cells $j(\Sigma_j L_j \exp(-\beta^f d_{ij}))$.

Given a town or urban region divided up into cells or zones, the inputs required for the model are:

the number of employees (basic and service) in each cell;
the floorspace to employment ratio;
the amount of land available for development in each cell;
the distance via the transportation network between each cell and all others;
the parameter β^f.

From these inputs the model outputs the amount of floorspace for all uses in each cell and gross floorspace ratios (F_j/L_j) for each cell. For a particular set of inputs there is a unique result for floorspace location, which can be used as an input to the activity model (i.e. as terminal descriptors for both the residential and service models). By changing the inputs one can thus explore the effects of different planning policies on floorspace location and on residential and service location as well. Within the context of the complete model of urban spatial structure, the service employment input is provided by the service submodel, and the basic employment and transportation network inputs are common to the model as a whole. The only inputs required specifically for the stock submodel are therefore the floorspace to employment ratio, the land available and the value for β^f (which is usually obtained by calibration).

It is worth pointing out that stock model assumes that the stock in a town has been built up over time under the influence of a more or less free market system. For most towns of any age, this assumption would seem to be valid. But in certain cases, especially in Britain, the location of stock has been controlled to some extent by planning authorities, either directly in that they have built a significant proportion of the stock themselves, or indirectly by the imposition of building bulk legislation, plot ratios, etc. In such cases, particularly when the stock has been completely controlled by the planning authorities as in most British New Towns, it will not be possible to use the results of the stock model as inputs for the activity model. But by incorporating the stock component of the urban spatial structure into the model, it is possible to assess the effect of those controls on the location of activities within the town, and also to compare the resultant locational pattern with the pattern that would probably have occurred had not these controls been applied (see Chapter 9 below).

The model can be developed further by considering the structural type of buildings and their age and condition. As mentioned earlier (page 178), some structural types tend to be able to accommodate only certain types of activity, while others are more adaptable. If residential population is divided into socio-economic groups, it is clear that the structural type, age and condition of housing will influence their location. Although structural type of buildings can be related (at least for housing) to floorspace ratio† and to the characteristics of the land on which they are built, it is likely that the age of buildings can only be simulated accurately within a dynamic context. In a static model the age of different parts of a town would therefore have to be considered as a given input. Since condition is related to age (see Wolfe 1967a) it would then be possible to simulate the condition of the stock.

The simple static model

Having described the formulation of each of the submodels in turn, it is now possible to describe the overall structure of the complete model. The framework is similar to Lowry's (see Fig. 8.2), but with an extra step, the stock model, at the front as shown diagrammatically below (Fig. 8.8). Given a town or urban region divided up into cells or zones, the principal inputs required for the model are:

the number of basic employees in each cell;
the amount of land available for development in each cell;
the distance via the transportation network between each cell and all others.

The model then operates as follows. First of all the stock model is run to determine the stock of floorspace in each cell. This requires a single iteration, the floorspace being distributed throughout the town from cells containing basic employment in response to the aggregate demand for floorspace for all uses and in proportion to the amount and accessibility of

† It is clear that a given floorspace ratio at least limits the range of probable structural types. A low ratio will tend to indicate detached housing with large private open spaces, a high ratio, high density housing (e.g. terrace houses, flats, etc.) with little or no private open space.

available land in each cell (Step 1). The floorspace used by basic employment in each cell is deducted from the total and the remainder is the total available floorspace for residential population and service employment. The activity model is then run iteratively to determine the location of residents and service employees within this supply of floorspace. Residents are distributed from workplaces to homes (representing journeys from work to home) in proportion to the amount and accessibility of available floorspace in each cell (Step 2). Service employees are distributed from their patron's homes to workplaces (representing journeys from home to services) in proportion to the amount and accessibility of available floorspace and employment in each cell (Step 3). In the first iteration the residential distribution is from basic employment; that is to say the basic employees in each cell are multiplied by the labour participation rate (the average

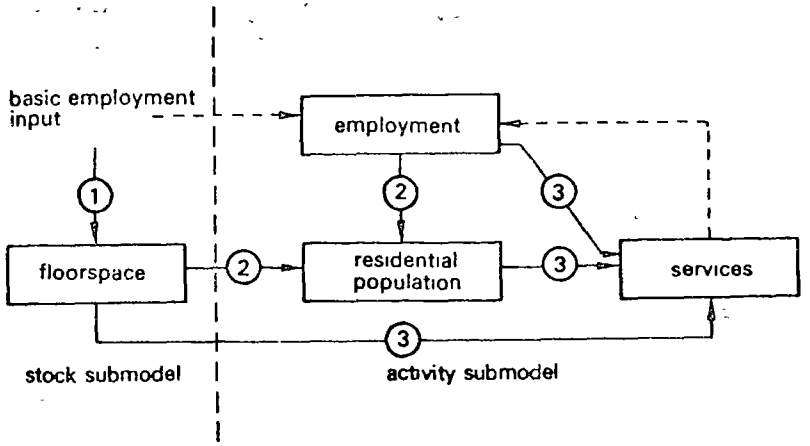


Fig. 8 8. Structure of the simple static model.

number of dependents per employee) and distributed to homes. The service employees generated by these residents are then distributed to workplaces and, in the second iteration, they are also multiplied by the labour participation rate and distributed to homes. The service employees that they as residents generate are similarly distributed first to workplaces and then in the next iteration to homes and so on, until the model reaches equilibrium (see page 181) At this point the number of residents and service employees located in each iteration is added up to produce totals for the residential population and service employment in each cell In addition the model can output for each cell gross residential and service employment densities, floorspace ratios and the amount of floorspace used by

residents and by service employees. The model can also output the number of work and service trips generated between each pair of cells, which can be allocated to particular routes along the transportation network by a subsidiary model if required.

Within this general framework a system of space checks is applied. At the end of every iteration the residents and service employees located in each cell are multiplied by a residential and service space standard respectively. In those cells where there is not sufficient room for both, services are allowed to displace residents, who are distributed back to their workplaces. The services that the displaced residents have generated are identified and discounted. The remaining successfully located service employees are then distributed to homes in the next iteration as described above, together with the displaced residents who need to be redistributed. Since the available floorspace in the cells to which they were previously distributed is now occupied by services, they will be attracted to other cells where there is sufficient room for them. In this way the process by which services displace residents in the centre of town is reproduced.

Unfortunately there is one difficulty with the general framework as outlined above, which is the result of running the stock model separately from the activity model. It was shown in the previous section that ideally the input to the stock model should be the total number of employees (i.e. basic and service) in each cell, rather than the number of basic employees only, which is the input to the complete model. In fact the difference between using basic employment as against total employment as the input for the stock model is not great; this is not surprising since the locations of basic and total employment are obviously correlated, basic employment being around 50%–60% of the total in a typical town. However, since the accuracy of the activity model depends on the accuracy of the stock model, it is important that the stock model should be as accurate as possible. One method of dealing with this problem is to reiterate the whole model, using basic employment as the input to the stock model at the start and then using the total employment output derived from the activity model as the input for the second run of the model But, for the limited increase in accuracy gained, this method is too cumbersome operationally, requiring at least twice as much computer time. A more fruitful approach is to incorporate the stock model within the iterative structure of the activity model, so that the town's stock of floorspace is not distributed all at once but builds up, iteration by iteration, in a corresponding way to the build up of residents and service employees. The full integration of all three distribution procedures within the same overall framework can be seen as a logical development of the arguments put forward in the first section, that a town is a unified system of interrelated parts. Instead of a model

into two separately treated submodels, the revised model considers both submodels simultaneously, as shown below in Fig. 8.9.

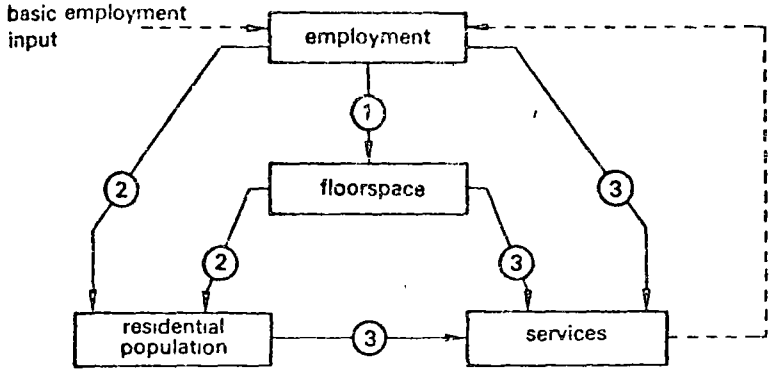


Fig. 8.9. Integrated structure of revised simple static model.

In the first iteration, the supply of floorspace required for basic employees and the residents and services they generate is distributed from basic employment (Step 1). The basic employees are then distributed to homes (Step 2) and the service employees that they as residents generate are distributed to workplaces as before within this supply of floorspace (Step 3). In the second iteration, these service employees are added to the basic employees and the total generates a new supply of floorspace (greater than and including the supply generated in the first iteration) within which employees (both basic and service) are distributed to homes from where further service employees are distributed. With successive iterations the total employees in a cell (and hence the floorspace generated) gradually builds up, each iteration producing a new and more complete distribution of floorspace, residential population and service employment.

In contrast to the previous model, which distributes increasingly small increments of residential population and service employment with successive iterations, the revised model distributes increasingly large quantities of each, although the *difference* between the quantities distributed in two consecutive iterations becomes smaller and smaller, so that the model tends to converge and reach equilibrium in exactly the same way. Thus the floorspace, residential population and service employment located within each iteration do not have to be stored to be added up at the end as before. At the beginning of an iteration, the service employees located in the previous iteration merely have to be added to the basic employees in each cell to form a revised input to the stock and activity submodels. Since each iteration produces more service employment than the last, the revised input of basic plus service employment becomes larger and larger, until, as

the model approaches equilibrium, it increases only by insignificant amounts. At equilibrium the model is distributing the town's total stock of floorspace from total employment (as required by the stock model formulation) and is distributing the town's total residential population and service employment within this supply of floorspace.

A major advantage of the new procedure is that the system of space checks can be dispensed with. In the previous version, each new increment of service employment can displace residential population located in previous iterations if there is not enough space for both. This means that space checks have to be applied at the end of every iteration, causing some residents to be displaced by the new service employees, even though they may have passed previous space checks. The displaced residents then have to be distributed back to their workplaces to be redistributed to other cells in the next iteration and the services that they have generated have to be discounted. In the revised version of the model, the process is very much simpler, since residents and services (including those located in previous iterations) are generated and distributed afresh in each iteration. This means that the floorspace available for residents can be adjusted from iteration to iteration as the distribution of services builds up. Thus at the end of each iteration a record is kept of the floorspace required by service employment and this is deducted from the floorspace available for residents in the next iteration. In this way the floorspace available for residents is constantly adjusted as more and more service employment is distributed, until, in the last iteration, it corresponds to the total available floorspace left over when all services have been located (see formalised procedure below, page 215).

As well as integrating the stock and activity models within a common framework the procedure outlined above produces a simpler and shorter computer program, requiring less storage and computer time. It is also conceptually neater than the previous procedure in that, in the last iteration, the three submodel formulations are applied to the distribution of all floorspace, residential population and service employment that is to say, all residents and service employees are treated in the same way. In the previous model residents and service employees are distributed piecemeal and since the value of the terminal descriptor for residential location, for example, varies with each iteration, they are thus treated differently according to the iteration in which they are located. It is in fact arguable whether this matters, since the results are the same in the end, but it is perhaps conceptually more satisfying that the formulations derived from theoretical and analytical studies of the locational behaviour of undifferentiated residents and service employees should be applied uniformly to all the residents and service employees being located in the model.

The complete model is summarised in the flow diagram (page 223) which shows the inputs on the left and the range of outputs on the right. The mathematical formulation of each submodel, the list of specific inputs and outputs and the formalised procedure of the model are presented below.

The simple static model

The stock submodel:

$$F_j = \Sigma_i A_i E_i w L_j \exp(-\beta^f d_{ij}) \quad (A_i = 1/\Sigma_j L_j \exp(-\beta^f d_{ij}).$$

The residential submodel:

$$R_j = \Sigma_i A_i E_i u F_j^r \exp(-\beta^r d_{ij}) \quad (A_i = 1/\Sigma_j F_j^r \exp(-\beta^r d_{ij}).$$

The service submodel:

$$S_j = \Sigma_i A_i R_i v W_j^s \exp(-\beta^s d_{ij}) \quad (A_i = 1/\Sigma_j W_j^s \exp(-\beta^s d_{ij}).$$

$$W_j^s = [(E_j/\Sigma_j E_j) + (F_j^s/\Sigma_j F_j^s)]^z$$

where F_j = total floorspace for all uses in cell j,
R_j = number of residents living in cell j,
S_j = number of service employees working in cell j,
E_i = total number of employees working in cell i. In the first iteration $E_i = E_i^b$; thereafter $E_i = E_i^b + S_i$,
E_i^b = number of basic employees working in cell i,
L_j = amount of land available for development in cell j,
F_j^r = amount of floorspace available for residents in cell j, i.e. $F_j^r = F_j - E_j^b w^b - S_j w^s$,
F_j^s = amount of floorspace available for services in cell j, i.e. $F_j^s = F_j - E_j^b w^b$,
A_i = normalisation term for each submodel to ensure that $\Sigma_j F_j = \Sigma_i E_i w$, $\Sigma_j R_j = \Sigma_i E_i u$ and $\Sigma_j S_j = \Sigma_i R_i v$ respectively,
d_{ij} = distance between cell i and cell j via the transportation network (used as a proxy for cost of travel between cells i and j),†

† As explained earlier (page 192), d_{ij} can be replaced by d_{ij}^θ if a closer approximation to travel costs is required, the parameter θ taking account of the fact that travel costs rise non-linearly with distance. The value for θ can, for the sake of simplicity, be the same for all three submodels, but theoretically there should be a slight difference between θ for the stock submodel and θ for the activity submodels, reflecting the different cost/distance relationship current at the time that most of the stock was built. Alternatively θ can be used for the stock submodel only and omitted from the activity submodels for ease of calibration.

u = labour participation rate, i.e. $\Sigma_j R_j/\Sigma_j E_j$,
v = service to population ratio, i.e. $\Sigma_j S_j/\Sigma_j R_j$,
w = total floorspace per employee, i.e. $\Sigma_j F_j/\Sigma_j E_j$,
w^b, w^s = space standard per basic employee and service employee respectively,
α = parameter representing degree to which services cluster,
β^f, β^r, β^s = parameters representing significance of distance as a constraint on activity location.

Inputs and outputs of the simple static model

Given a town or urban region divided up into n areal units or cells,† the model requires:

1. The number of basic employees working in each cell (E_i^b, n values).
2. The amount of land available for development in each cell (L_j, n values).
3. The distance from each cell to all others via the transportation network (half matrix of $\frac{1}{2}n \times n + \frac{1}{2}n$ values, one for each d_{ij}).‡
4. The values for the ratios u, v and w (one value each).
5. The values for the space standards w^b and w^s (one value each).
6. The values for the parameters α, β^f, β^r and β^s (one value each – usually determined by calibration).

The full list of the outputs of the model is:

1. The amount of floorspace for all uses in each cell (F_j, n values).
2. The gross floorspace ratio in each cell (F_j/L_j, n values).
3. The number of residents living in each cell (R_j, n values).
4. The amount of residential floorspace in each cell ($[F_j - E_j^b w^b - S_j w^s]$, n values).
5. The gross residential density in each cell (R_j/L_j, n values).
6. The number of service employees working in each cell (S_j, n values).
7. The amount of floorspace used by service employees in each cell ($S_j w^s$, n values).
8. The gross service employment density in each cell (S_j/L_j, n values).
9. The total number of employees working in each cell (E_j, n values).

† At least one cell should be considered to represent the region surrounding the study area (the environment of the system). This enables the model to cope with work and service trips originating in the study area but ending outside, and vice versa.

‡ This includes the n intra-zonal values for d_{ij}. The matrix can be generated automatically by digitising the nodes and links of the network and running a computer program to search for the shortest route from each cell to all others.

10. The amount of floorspace used by all employees in each cell ($E_j^b w^b + S_j w^s$, n values).
11. The gross employment density in each cell (E_j/L_j, n values).
12. The number of work trips between each pair of cells (T_{ij}^w, $n \times n$ values).
13. The distribution of work trip lengths and the mean work trip length.
14. The number of service trips between each pair of cells (T_{ij}^s, $n \times n$ values).
15. The distribution of service trip lengths and the mean service trip length.

Procedure of the simple static model

The model follows the sequence of operations described below; each step is carried out for all cells in turn. A system of asterisks is used to denote the number of the iteration. Thus F_j^* is the floorspace distributed to cell j in the first iteration, F_j^{**} the floorspace distributed to cell j in the second iteration, and so on.

Given: $E_i^b, L_j, d_{ij}, u, v, w, w^b, w^s, \alpha, \beta^f, \beta^r$ and β^s

First iteration

Step 1: employment input: $E_i^* = E_i^b$.

Step 2: floorspace location: $F_j^* = \Sigma_i A_i E_i^* w L_j \exp(-\beta^f d_{ij})$.

Step 3: residential location: $R_j^* = \Sigma_i A_i E_i^* u F_j^{r*} \exp(-\beta^r d_{ij})$,

where $F_j^{r*} = F_j^* - E_j^b w^b$.

Step 4: service location: $S_j^* = \Sigma_i A_i R_i^* v W_j^{s*} \exp(-\beta^s d_{ij})$,

where $W_j^{s*} = [(E_j^*/\Sigma_j E_j^*) + (F_j^{s*}/\Sigma_j F_j^{s*})]^\alpha$,

and $F_j^{s*} = F_j^* - E_j^b w^b$.

Second iteration

Step 1: new employment input: $E_i^{**} = E_i^b + S_i^*$.

Step 2: floorspace location: $F_j^{**} = \Sigma_i A_i E_i^{**} w L_j \exp(-\beta^f d_{ij})$.

Step 3: residential location: $R_j^{**} = \Sigma_i A_i E_i^{**} u F_j^{r**} \exp(-\beta^r d_{ij})$,

where $F_j^{r**} = F_j^{**} - E_j^b w^b - S_j^* w^s$.

Step 4: service location: $S_j^{**} = \Sigma_i A_i R_i^{**} v W_j^{s**} \exp(-\beta^s d_{ij})$,

where $W_j^{s**} = [(E_j^{**}/\Sigma_j E_j^{**}) + (F_j^{s**}/\Sigma_j F_j^{**})]^\alpha$

and $F_j^{s**} = F_j^{**} - E_j^b w^b$.

Subsequent iterations

Steps 1 to 4 are repeated for all subsequent iterations. Thus for the third iteration, Step 1 is:

$$E_i^{***} = E_i^b + S^{**}$$

and in Step 3:

$$F_j^{r***} = F_j^{***} - E_j^b w^b - S_j^{**} w^s.$$

The model will continue to iterate until the number of service employees distributed in one iteration is insignificantly larger than the number distributed in the previous iteration. This can be determined either by inspection or by specifying the level of significance, in which case the model will stop iterating when:

$$\Sigma_j S_j^{*\cdots**} - \Sigma_j S_j^{*\cdots*} \leqslant \text{specified value.}$$

At this point the model has reached equilibrium and will output the results listed above.

Conclusions

This paper has discussed the formulations contained in the simple static model and its procedural structure from the point of view of their operational success in reproducing reality. By examining several formulations in each case and by explaining the advantages of the formulations chosen step by step, it is hoped that the reader has gained some insight into the problems of model building and of combining several formulations within a common framework. Model building, however, is not merely a process of experimenting with different equations until one is found which happens to fit the data at hand. Any model, whether explicitly stated or not, is based on a body of theory and a set of assumptions, and it is on the validity of such theories and assumptions that the predictive power of a model depends. Thus an equation based on strong assumptions with little theoretical backing may be able to reproduce reality in one or two specific cases, but without a body of theory to explain why it should be those particular equations rather than any other, one cannot be confident of its ability to reproduce reality in all other cases or in future. In this context, the work of Wilson is of great importance, since he has provided a firm theoretical basis for the equations presented in this paper: that is to say he has shown how entropy-maximising principles can be used, given a set of specified assumptions, to explain why these particular equations should be applicable to all urban spatial structures for which these assumptions are valid, regardless of size, type or age. For a full description of these principles, of the models that can be derived using them and of the assumptions made in each case, see Wilson (1967 and 1971).

But if models depend on theory to prove their general applicability, it is also true that the ultimate test of a theory is still its ability to reproduce reality, and however valid a model is theoretically, it still needs to be tested for as many different types of town as possible. In this way the particular failings of a model can be analysed and the need for refinements of theory and procedure identified. In fact many of the problems of

building models only emerge when they are made operational (e.g. the problem of what variable to use as terminal descriptor, the use of distance as a proxy for travel cost, etc). The detailed examination of the operational success of different formulations, and the understanding of how each equation within the model framework affects the others, is thus a vital part of model building. It is with these aspects that this paper has been concerned. Another factor influencing the success of a model is the conceptual framework on which it is based, that is to say the elements of the urban system chosen to be represented in the model. In this connection the distinction between the activities within a town and the stock of floorspace that accommodates them has proved crucial to the simple static model and is partly responsible for its success

To date the simple static model has been tested for four towns: Reading, Cambridge, Stevenage and Santiago (Chile), each one representing a different type of spatial structure The results, which are fully reported elsewhere,† have been sufficiently encouraging to suggest that the model and the conceptual framework on which it is based do have a general validity Since any model is a simplified abstraction there are inevitably some discrepancies between the model's predictions and reality, but these can be seen to be the result of the oversimplified nature of the model rather than of any fundamental flaw in the theory of the model itself. In spite of the good results so far obtained, however, it is clear that the model needs to be tested for many more towns and to be extended in scope and in the number of elements considered

A more complex model, capable of relating together more elements of the urban spatial system, can be formulated by dividing each of the elements considered in the simple model into subelements (i.e. sectorial disaggregation). Thus residential households can be distinguished by socio-economic group, size, number of wage earners and age structure. Employment can be divided up into different types of basic and service employment (so that shops, schools and offices are considered separately for example) and distinguished by scale of patronage (local, district, town, regional, etc.), by space requirements and by employee characteristics (e.g. socio-economic group, full or part-time, male or female, etc). The stock of buildings can be classified according to size, structural type, suitability for occupation by different activities, age, condition, length of street frontage, etc. The stock of channel spaces can be differentiated by the type and capacity of both nodes and links. Flows of traffic can be

† The results for Reading are described in Echenique *et al* (1969a); the results for Cambridge are described in Booth *et al* (1970), the results for Stevenage are described in Chapter 9 [illegible]ge 221, and the results for Santiago are described in Echenique and Domeyko (1970)

classified by mode (cars, bicycles, pedestrians, public transport, etc.) and these flows can be matched against the capacity of the transportation network so that the effects of congestion can be simulated. Accessibility between all these different elements can be measured in terms of both time and cost, taking account of congestion, parking facilities, waiting times for public transport, etc. The possibilities for sectorial disaggregation of this kind are obviously endless and it will be some time before a complete model considering even half of the elements listed above will be developed and tested. Analytical studies may well show that some of these elements are in any case insignificant in determining spatial relationships. Nonetheless, most of the data describing the elements above have already been collected for the town of Reading (see Perraton 1970 and Lenzi 1970) and work on a complex model is in progress.

Apart from sectorial disaggregation, there is also the possibility of areal disaggregation. The simple static model has so far been tested for towns divided up into 1 km × 1 km grid cells, but it is proposed that future models should be capable of operating at the level of 500 m × 500 m grid cells Some of the problems of handling the larger number of cells that this involves have already been solved by the development of a 'cordon' model, which allows a mixture of cell sizes to be used (see Baxter 1970). Thus a particular part of a town can be considered in fine detail (e.g. at the 100 m × 100 m cell level) without ignoring its relationships with the rest of the town. It is certain, however, that there is a limit to the level of areal disaggregation at which a model (especially a complex model) can operate, owing to the small quantities of stock and activities contained in very small cells. No model of the overall spatial structure of a town can hope to simulate the behaviour of individuals.

Finally, the dynamic aspects of the urban system should be mentioned. Both the simple model presented in this paper and the more complex versions described above are static in that they simulate the distribution of stock and activities in space at a particular moment in time. That this has proved possible at all is partly the result of the inertia of a town's stock of floorspace and channel spaces, which change only very slowly with time. The urban system is nonetheless dynamic and the effect of a change in the system will not necessarily be apparent until some time has passed The spatial structure of a town is clearly influenced by the particular ways in which the town has developed and evolved in the past and by the direction in which it is developing and evolving in the present. Although the need to study these dynamic processes is obvious, research is at present hampered by the general lack of time-series data, but it is hoped that p[illegible]nary work on a dynamic model will be begun in the near future

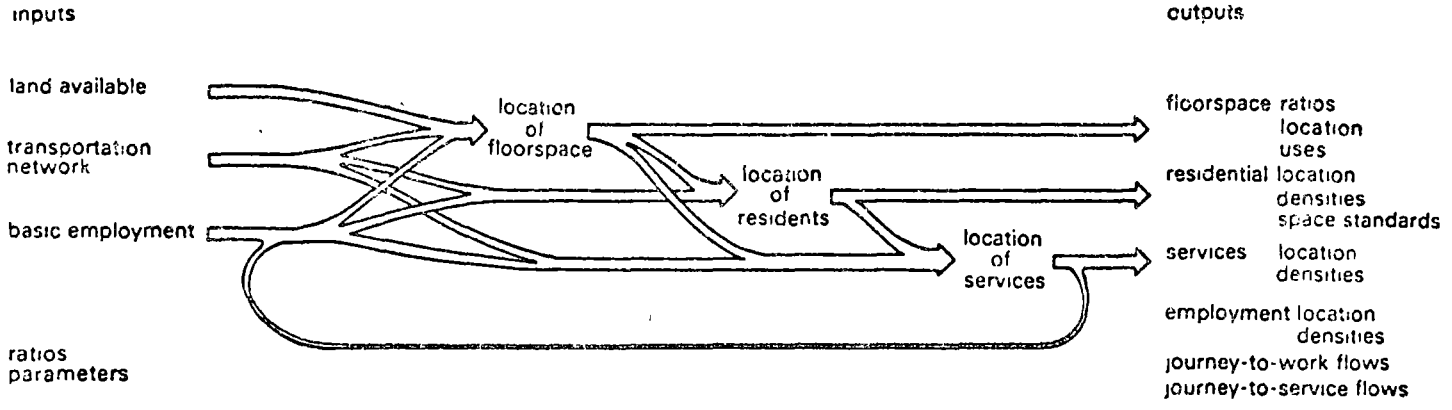


Fig. 9.3. Flow diagram of the simple static model, showing inputs and range of outputs.

Chapter 3

A SYSTEMS APPROACH TO URBAN REVIVAL

L. Alfeld & D. Meadows

3-1 INTRODUCTION

New programs touted as the answers to our many urban problems are announced in every morning newspaper. Every day somewhere in the U.S. a new urban program is initiated -- a program designed to eliminate poverty, to rehabilitate slums, to decrease traffic jams, to solve parking problems, or to alleviate some other aspect of our current urban "crisis". A local mayor promotes tax relief for new housing; a law enforcement officer seeks to hire hippies to fight against the spread of drugs in his community, a transportation department announces plans for a new mass transit system. To many Americans, the proliferation of new urban programs at the Federal, state and local levels in recent years must appear staggering.

In 1970 there were more than 600 Federally-funded programs, dispensed by 78 different agencies. 15% of our Federal budget went into these programs in 1970 and the dollar amount is increasing by 12% every year [Ref. 1, 2, 3]. These programs include public assistance, highways, education, anti-poverty, food distribution, public health, urban development, public works, unemployment insurance, vocational rehabilitation, and business development. At state and local levels, a similar phenomenon exists.

Behind each program is someone who has identified a problem and initiated a program to solve it through direct action. These programs are based upon a common premise: by solving the city's problems individually, the city will become a better place in which to live and work. By any objective measure, this approach seems to have failed. Reports and statistics on urban crime, pollution, slums, traffic, taxes and welfare attest to this fact [Ref. 4, 5, 6, 7, 8, 9].

The quality of urban life in American cities has not been raised over the past decade. Most observers of the urban scene would agree that, relative to our expectations, the city is getting worse, not better. An ambitious employment program in Detroit, for instance, did not significantly reduce the rate of unemployment in Detroit [Ref. 10]. The almost endless supply of new housing in New York City has not alleviated that city's eternal housing crisis [Ref. 11].

If we can hope for no more than what vast expenditures of money and manpower have already accomplished, there may be little hope for our cities.

3-2 UNDERSTANDING URBAN SYSTEM BEHAVIOR

The symposium represented by these Proceedings has been organized to explore new approaches to urban problems, approaches which we all hope will not fall prey to the same deficiencies as those we so freely criticize. It is obvious that success will require new analytical approaches such as those to be discussed during this program. But an increase in the efficiency of present programs is not enough. If we were able, through the application of better tools to achieve a vast improvement in the operation of current urban programs, this still would not insure a better city nor the solution of current problems. Merely raising the operational efficiency of the city is not sufficient because the urban system does not seek to satisfy our goals; it operates to satisfy its own internal demands which are often quite apart from human aspirations.

The authors are respectively, Director of Urban Dynamics Group and Assistant Professor of Management, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts. The research for this paper was supported by a grant from the Independence Foundation, Philadelphia, Pennsylvania.

It has become clear that the complex social and economic systems which are created from the interactions of individual efforts to achieve personal goals generally do not operate to further such goals. Large corporations tend to ignore individual contentment, government agencies often seem to possess a will of their own, cities do not reflect the values of their residents. Complex systems such as these are not structured to pursue objectives defined in personal terms.

This point is sufficiently important to warrant illustration. Many different individuals can take actions which appear to satisfy their own objectives; the aggregation of these efforts constitutes a complex social system. The goals which become implicit in that system will cause it to behave in some way very different from the expectations and the desires of its creators. The city is an excellent example of this perversity. Created so that the efficiencies of scale could provide better physical and economic well-being to its inhabitants, it has worked to trap many in poverty and to lower the physical and psychic health of those living in it.

Before we apply operations research tools to increase the efficiency of the city's individual components, we need a new theory which can effectively deal with urban behavior. That new theory must embrace a conceptual understanding of the city as a whole. It must facilitate analysis of the city's various activities as interrelated functions of a single complex system. Only when we are able to work within such a conceptual framework can we be certain that new urban programs will actually serve to solve urban problems.

Research over the past three years by the System Dynamics Group at M.I.T.[1] has been directed to the development and

[1] System Dynamics is a theory of feedback system structure and a set of tools for representing complex systems and simulating their behavior. These tools were first developed at M.I.T. by Professor Jay W. Forrester in the context of industrial organizations. They were first presented in [Ref. 12] and are widely known by that name. Industrial Dynamics has become a misnomer, however, for in the past decade it has been applied to over a hundred different systems ranging from internal medicine to commodity price cycles and urban decay. Work reported here is an extension of research reported in [Ref. 13], Jay W. Forrester, Urban Dynamics, M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1969.

application of a theory to explain urban behavior. The primary key to understanding a city's total behavior is the concept of urban attractiveness. In this chapter we will define that concept, and describe an urban model based upon it. Through simulation analyses of that model, it has been possible to study the effects of alternative revival programs on the city as a whole. Analyses indicate that programs often have an effect exactly the opposite of that intended. Finally, we will introduce a new approach to the formulation of urban revival policies as a context for the development of more effective future urban programs.

3-3 THE THEORY OF URBAN ATTRACTIVENESS

The concept of urban attractiveness is familiar to everyone. We all make distinctions between urban areas based upon their appeal to us. The term "attractiveness" relates to our own preferences and biases in distinguishing among urban places. The sum total of all individual conceptions about the desirability of a given urban area constitutes the aggregate attractiveness of that area. It is this combination of influences which determines where we choose to live and work. On a larger scale, it simply defines the ability of a city to draw and to hold people.

Attractiveness is related to the movement of people to and from places. In our society people move between cities freely and without limit. Almost 5% of our population decides each year to move from one city to another; three times that many move from one community to another within a single metropolitan area [Ref. 14].

The decision to settle in a specific area may depend on many factors. It can involve job opportunities, the availability of housing, nearness to friends, climate, economic costs, quality of schools, racial attitudes and welfare benefits. Although attractiveness is a composite index and not a single objective measure, it has real meaning. People are quite consistent in their assessment of relative attractiveness as indicated in [Ref. 15].

A city's attractiveness is closely related to its population growth or decline. When an area is more attractive than its environment, its population will increase, as many people settle there in preference to other areas. There are, of course,

lag inherent in the perception of attractiveness. New job opportunities today will not mean new residents tomorrow. But over the long run, perhaps ten to twenty years, any increase in attractiveness relative to other areas will result in net migration into that city. That in-migration will continue so long as the area is relatively more attractive than the rest of the country. Only when this new attractiveness fades will net growth due to migration cease. Migration will, of course, continue, but new arrivals will be relatively balanced by those leaving the area.

What causes the attractiveness of a city to change? The answer to this question is the key to understanding a city as an urban system, the key to understanding why urban programs fail, and the key to restructuring a new approach to the solution of our urban problems.

3-4 GROWTH AND FEEDBACK

California is a very large area that has been a powerful magnet for migration for over a century. Each year many thousands more people move to California than move away from that state. In the last few years the population of California has grown steadily until today. 1 out of every 10 people in this country lives in California [Ref. 16]. It is obvious that such a disparity of population flow cannot continue forever; long before California is completely filled (or the rest of the nation completely emptied), people will stop moving there. Why? The answer is quite simple: most elements of an area's attractiveness are decreased by an influx of people. Schools and other city services become overloaded, new job opportunities eventually decrease, recreational facilities become crowded, travel becomes difficult, natural beauty is continually despoiled by an expanding population. All of these symptoms are becoming increasingly evident in California:

> So it is that in California one sees not only the consequence of unplanned, careless, or deliberately destructive past activity, one also gets the feeling that the worst is yet to come. There are times when the change without apparent direction, and the growth without control, give the appearance of socially acceptable madness, of a human population irruption that may well end tragically both for the people and for the land [Ref. 17].

Increased attractiveness leads to population increases. And more people eventually decrease the attraction of any area. No city can escape from this law. Unsettled areas may become temporarily more attractive as initial population increases stimulate the creation of industry and urban amenities. Ultimately, however, attractiveness will be depressed by further population increases. Industrial expansion may enhance job opportunities in a city, but as these jobs are filled, the larger population drawn to the area will have succeeded in depressing other elements of the city's attractiveness. The opening of a new highway linking a city and a national seashore preserve will initially attract people who wish to take advantage of the new recreational opportunities. But migration stops when the highway between the city and the seashore is finally packed solid with cars.

This feedback phenomenon which limits attractiveness is not new; the same dynamics are at work in the lines which form before the tellers' windows at a bank, or in the lines of traffic in the lanes at a turnpike toll plaza. Each new arrival attempts to minimize his waiting time by joining the shortest lines. On the average, all lines tend to be of equal length and therefore, equal attractiveness. Each person attempts to maximize his own well-being and, in the process, creates a system whose internal dynamics keep all the people relatively equal.

If you accept this simple concept of attractiveness, one thing is clear: where migration is not restricted, it is impossible to raise the aggregate attractiveness of any one city relative to its environment for any significant period of time. This conclusion has profound implications for urban programs. Any program which successfully improves the city along some dimension will initiate a feedback response from the environment that, in turn, worsens other aspects of the city.

The failure of many current programs suggests that the urban system is too complex to analyze intuitively -- we cannot guess how the system will respond to the initiation of a new program. Individual parts of the system are sufficiently well known, however, to warrant construction of a formal model to examine urban behavior. The model then allows us to analyze system response to programs and reach conclusions about policy decisions. Alternative policies which change the component indices of attractiveness will affect migration patterns in different ways. We wish to look for policies which produce beneficial changes

3.5 MODELING THE SYSTEM

A formal model which embodies the concept of attractiveness is necessarily complex, for the concept is a composite of many elements each influenced by feedback relationships. As an illustration of the feedback loops involved, Figure 1 indicates the relationship between housing and migration.

If new apartments are constructed in a particular city, occupancy levels fall tending to lower rental costs. As people are attracted by lower rents, the housing again fills up. The cost of housing rises until people stop flowing into the area. More housing may be built in response to higher rent levels until no more land is available for building.

Another typical relationship is illustrated in Figure 2, which shows the relationship between new industry construction and migration. Additional industry offers new jobs and thereby attracts people. People build housing. The availability of a larger labor force attracts yet more industry. This growth cycle also ends when the available land is completely filled, making it difficult to bring additional new industry into the area.

A third relationship is shown in Figure 3. If more housing is constructed, people are attracted to an area. A larger population places increased demands on urban services. Revenue requirements go up followed by tax increases. New housing construction is slowed because of higher taxes and fewer houses are built. The property base ceases to expand and taxes must again be raised.

There are time delays embodied in each of the above examples. The amount of time it takes for a response to be transmitted around any one of these loops is different in each case. New housing is generally sold during the year in which it is constructed. The time it takes to fill up the land within a city, however, takes a much longer time, perhaps a century or more, while the delay between the raising of taxes and the subsequent stagnation of the property base of any city varies greatly according to the depressent effect of new taxes and the demand for new construction in the face of such taxes.

It is relatively easy to describe and discuss each of these loops independently. Sufficient information is available in the literature and from the experience of those involved in urban systems to form an accurate picture of the system. Together, these relationships form a complex system, through which it is difficult, if not impossible, to intuitively trace the implications

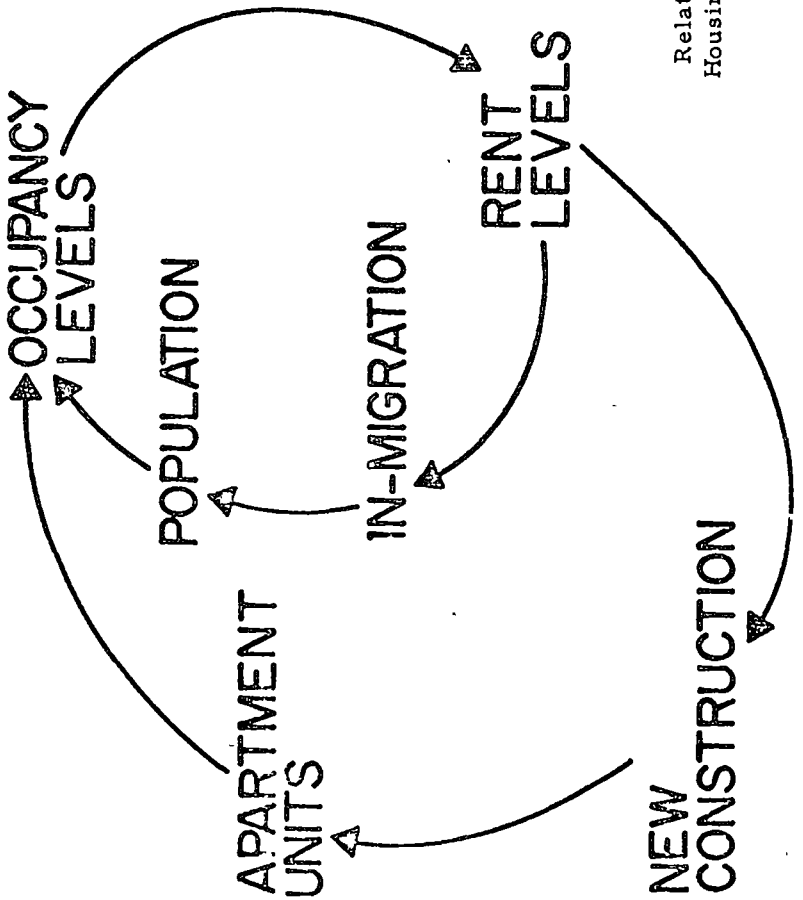


Figure 1
Relationship Between
Housing and Migration

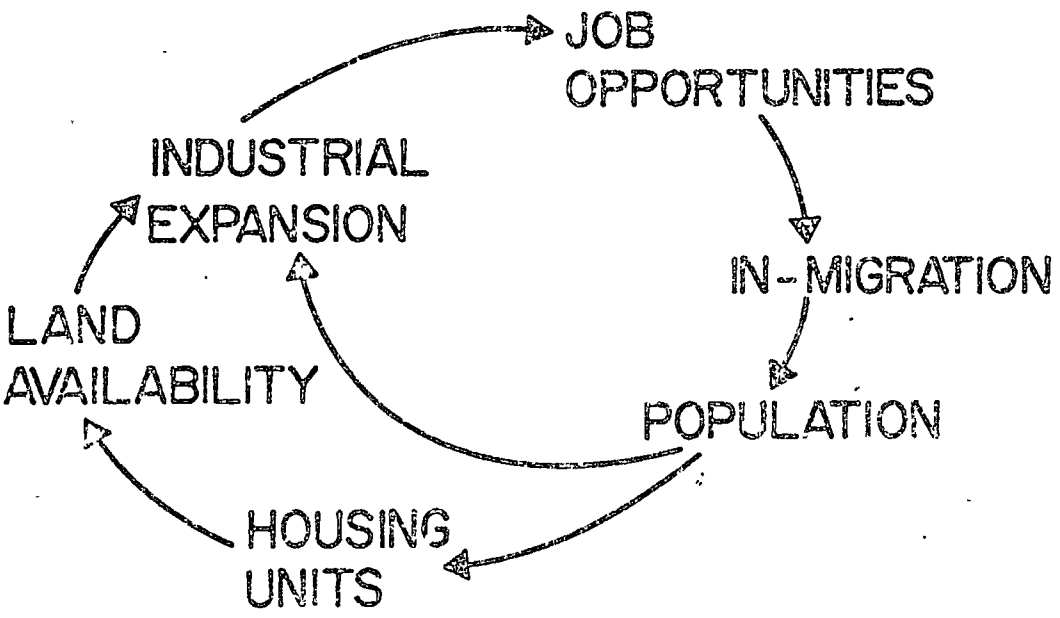


Figure 2
Relationship Between New Industry Construction and Migration

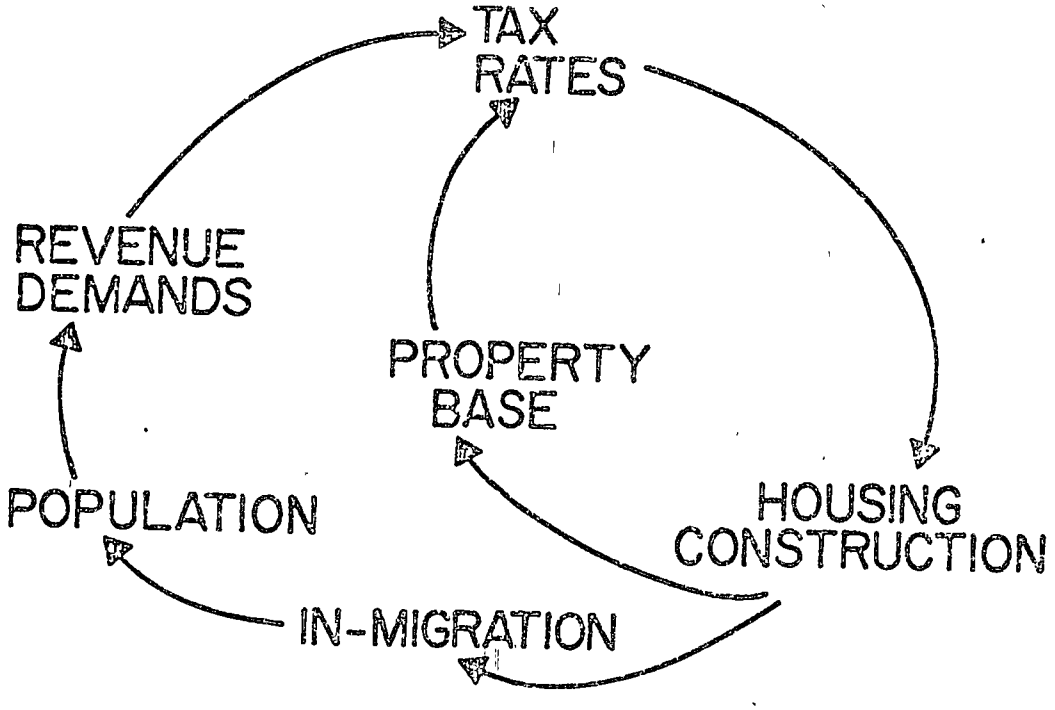


Figure 3
Relationship Between Construction Migration and Tax Rates

of a policy change. Building a model from many loops such as these, however, permits us to piece together the individual parts into a coherent whole. When the model is completed, it is then relatively easy to simulate the effects of any suggested change upon the behavior of the total urban system.

Without a comprehensive model, we are limited to tackling one problem at a time. Thus we will fail to understand the disturbing influences that any solution will propagate throughout the entire system. For example, one might reason that downtown traffic congestion can be alleviated by the construction of off-street parking facilities for commuter's automobiles. It may well be, however, that the increased availability of parking in the downtown area encourages more commuters to drive to work, thereby raising the total number of cars in the city. As parking garages reached capacity, traffic congestion would again begin to rise. The long run effect could be that the garages led to a change of commuter habits, causing them to rely more upon private automobiles and less upon mass transit. Downtown congestion problems would not have changed and the patronage of mass transit facilities would have been lessened. Although this example may be trivial, the point is valid. Long-term effects may be the opposite of short-term results. An ostensibly beneficial program may leave the city in a worse condition.

3-6 SYSTEM DYNAMICS AND URBAN DYNAMICS

System Dynamics is a method of systems analysis -- a philosophy of systems structure and a set of simulation tools for modeling a system's feedback loop structure and its behavior over time. It was created to represent the characteristics and implications of feedback loop structures such as those outlined above. These tools were first applied to industrial systems and the term "Industrial Dynamics" takes its name from a book by Jay W. Forrester which reported that work [Ref. 12]. The term has, however, become a misnomer. Over two hundred studies conducted since that first book have applied the methodology to problems ranging from internal medicine to commodity fluctuations and the management of research in the market economy.

One recent study resulted in the book titled Urban Dynamics [Ref. 13], which explored the complex feedback loop structure of the urban system.

Urban Dynamics is a book about the behavior of urban areas as they grow and eventually reach a point of equilibrium. It centers around the concept of an urban area as a system of interacting industries, housing and people. Normally, the internal dynamics of the sectors of a city cause it to develop, growing outward over the land area until the supply of vacant land is exhausted. Then the processes of aging often yield the symptoms of urban decay. As this process unfolds, the population characteristics and the types of economic activity within the city change. Unless some force for renewal is present, the filling of the land turns the city from growth to stagnation. Once the land is filled, new growth cannot occur as easily and, as the area ages without new houses and industries, it becomes even less attractive to new construction. This loss of attractiveness leads to further decline.

Urban Dynamics has been built around the concept of attractiveness. It includes those parameters which cause people to move to and from a city and those which cause the city to age over time. The behavior which we witness in American cities today is explained by the Urban Dynamics model. This model permits the study of programs which may be introduced into the city system to produce short-term changes in urban attractiveness.

The System Dynamics technique organizes the feedback processes of the system into a model and employs a digital computer to simulate the dynamic behavior of the system. The model's initial conditions can be set so that it grows over 250 years from a nearly empty land area to a large city. The model can also be initialized so that it starts with the equilibrium conditions that are reached at the end of the growth phase. The equilibrium model is used to explore the results of various policy changes upon the condition of the city over a 50-year time span. All such changes are represented in terms of the city's condition or attractiveness, relative to the condition of its surrounding environment. Although both the city and its environment change, only the relative differences in these changes are important to the model behavior.

The internal system of the model is composed of three primary subsystems representing business activity, housing and population. These are shown in Figure 4. Business activity is

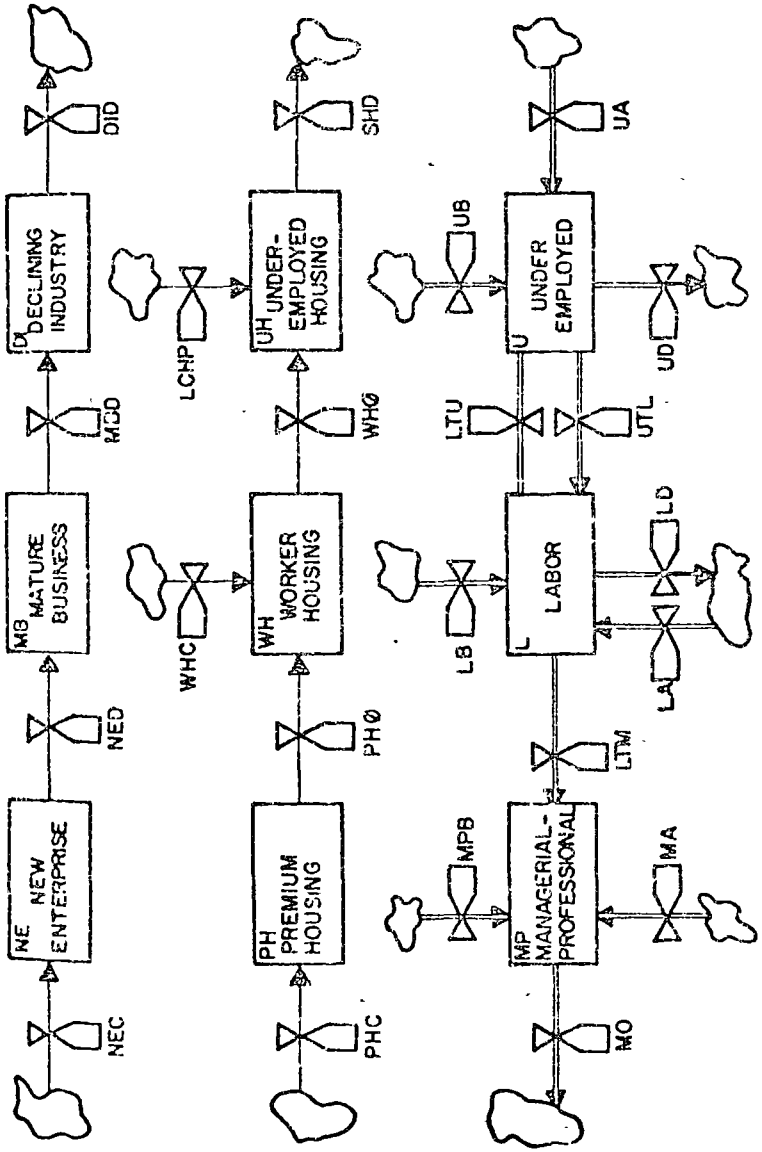


Figure 4
The Business Activity, Housing and Population Subsystems

divided into three categories according to the age of the buildings that house business activity.

The flow of business activity from one category to another depends upon both time and the condition of the entire urban system. Industry ages more quickly as taxes increase or as the labor supply drops. The middle subsystem contains three categories of housing which respond to the cycle of construction, aging and demolition. New housing enters the system on the left and eventually exits the system through demolition on the right.

The lower subsystem represents population and three categories of people are shown: manager-professional, labor and underemployed which correspond roughly to income distinctions in today's society. Note that in addition to flows of people between categories, people migrate directly between each category and the environment. As conditions in the cities change, each of these three categories of population will find the city either more or less attractive. They respond to this perception by entering or leaving the city. Thus, the composition of the population will change according to the conditions represented in the city.

Each business activity employs a certain ratio of managers, labor and underemployed. It is important to note that as businesses age, fewer jobs are available. Thus new enterprise is essential to the maintenance of high employment levels.

The categories which were described are called system levels. These principle levels are affected by rates of flow into and out of each of the levels. Each rate of flow is dependent at any moment upon the system levels. This network of levels and rates is connected by an information network. The model is too complex to show in its entirety, but Figure 5 shows how one flow rate within the system is affected by the levels of the entire system.

This represents the arrivals of underemployed to the city in response to their perceptions of changes in the aggregate attractiveness of the city.

With most of the important interactions between the various components of the urban system included in the Urban Dynamics model, the simulation runs are capable of explaining the growth and decay of cities, and the city's dynamic response to new programs.

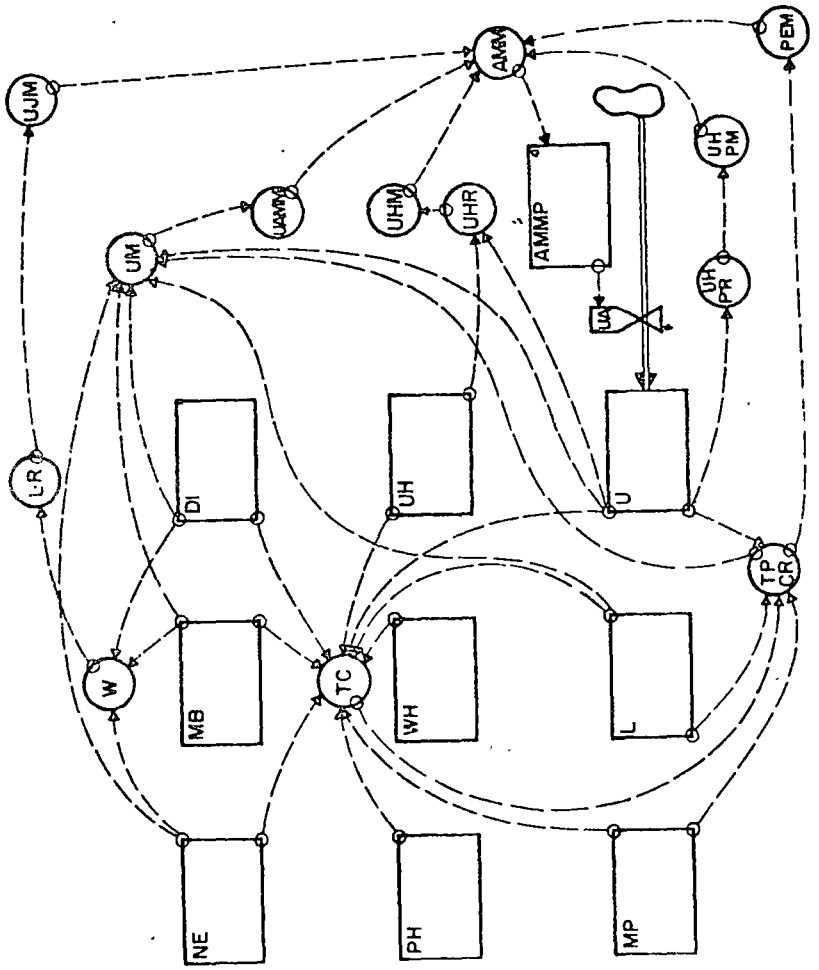


Figure 5
Subsystem Interrelationships

3-7 RAISING ATTRACTIVENESS

We are all aware that there is a growing pressure within our central cities for increased quantitites of low-income housing. Much of the housing stock in our central cities is rapidly deteriorating, while its cost is increasing [Ref. 18]. Residents of the central city, therefore, find themselves caught between an increase in price and a decrease in quality.

A common reaction to the problem is to construct low-cost housing. That program can be represented in the Urban Dynamics model. Consider, for example, a program of low-cost housing construction in the central city -- a program that attempts to add about 5% to the stock of low-income housing each year. This new housing should alleviate the city's housing problems; our brief description of the often counterintuitive behavior of the urban system, however, should make you wary of the ultimate results of such a program. We should expect that another problem within the system will be worsened. The problem we have chosen to attack -- that of low-cost housing -- may even suffer in the process. Both suspicions are correct.

Figures 6 and 6a give the results of the introduction of such a program on the city. The graphs show the outcome in rather vivid terms. Housing available to the underemployed begins to rise immediately as the program gets under way. Due to the increased availability of housing, more underemployed begin to be attracted to the city and the total underemployed population rises for the first 10 years. Filling the land available with low-cost housing lowers the attractiveness of the area for new enterprise, depressing the construction of new industry. The combination of increased numbers of underemployed and fewer new job opportunities acts to depress the overall attractiveness of the area, stopping additional in-migration of underemployed.

After 50 years, housing conditions have not materially improved. A scarcity of jobs has raised unemployment and lowered the upward economic mobility of the poor. A new equilibrium has been reached which is far worse than that which prevailed at the inauguration of the low-cost housing program.

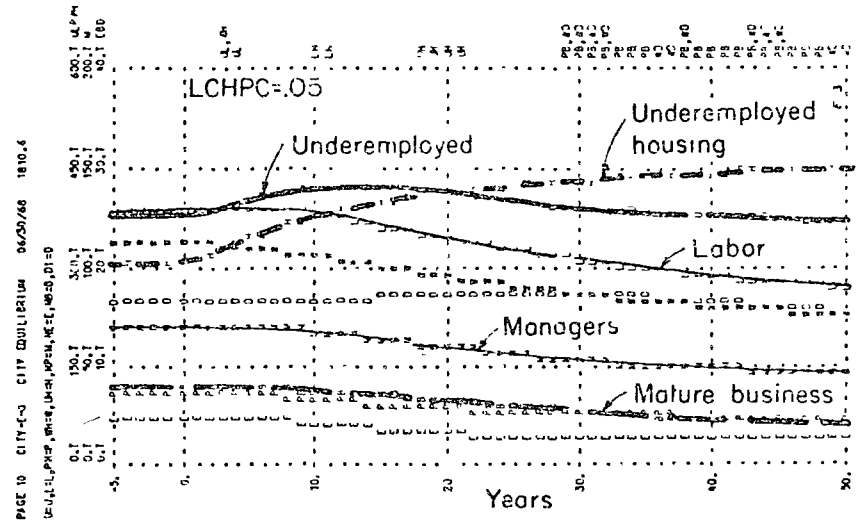


Figure 6

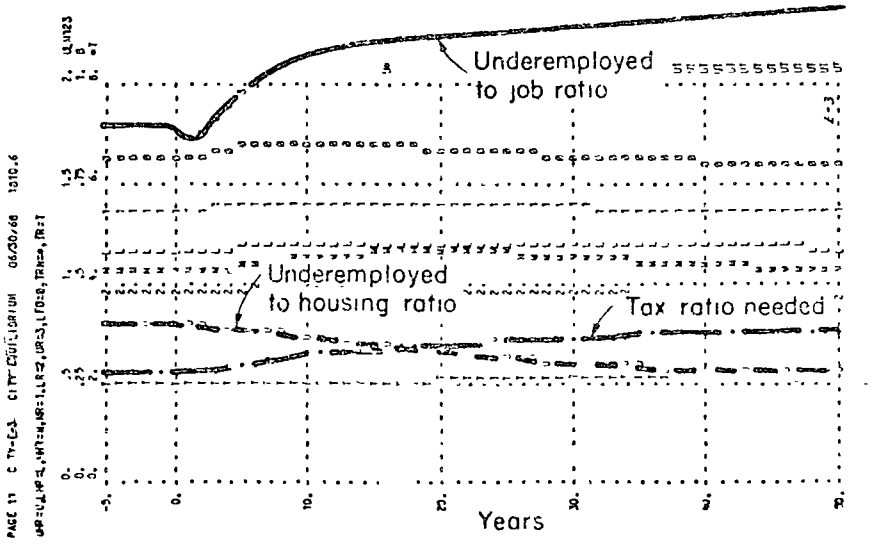


Figure 6a
Effects of Introducing a Lowcost Housing Program

American cities continue to form policy on the basis of short-term results. The vast majority of the programs which have been instituted to improve the city have had deleterious effects similar to those just illustrated. Is it any wonder, therefore, that urban problems are now reaching "crisis" proportions?

In the long run, most programs which succeed in raising the city's attractiveness ultimately succeed in increasing in-migration until the system is driven back down to its starting point. As a result, the attractiveness has not been changed, and many of the problems are often worse. This internal rebalancing of the system occurs automatically; as new pressures are introduced into the system they are distributed within the system. When one component of attractiveness is raised, another component often suffers. When additional housing is created, economic standards fall. It is impossible to increase the quantity and quality of everything for everyone. It is only through the explicit manipulation of the counterbalancing effects that we can gain a degree of control over the changing parameters of the urban system.

3-8 NEGATIVE COUNTERBALANCES

Efforts to raise attractiveness are defeated by negative counterbalances within the system. These are forces which act within the system to eventually stem the flow of in-migration. As the housing example showed earlier, the inevitable negative counterbalance may even show up as a decrease in that component of attractiveness which was first raised. A negative counterbalance can also appear elsewhere in the system to substitute for a natural attractive feature of an area. For example, in Los Angeles, the climate and the extensive beaches have not changed. However, the counterbalancing forces of smog, traffic, crowding and urban sprawl have seriously detracted from that area's natural amenities. This compensation within the urban system will always occur.

The principal lesson of Urban Dynamics is that such negative counterbalances need not be unexpected events chosen by the system. City administrations can decide which trade-offs they prefer, which amenities they wish to forego in gaining others. This decision will be politically difficult, but it cannot be

avoided. If it is not made deliberately by citizens, it will be made implicitly by the system. When the system decides, it is rarely an outcome that anyone would consciously choose. We must understand that when we make a conscious choice to add housing to the city we are also making a long-term choice to increase unemployment, or traffic congestion, or crime, or raise the cost of living. Cities must develop comprehensive strategies for dealing with their problems, strategies which account for both the positive and the negative forces arising from any program.

Cities cannot close their doors to migration, though that would be a solution. The United States closed its doors to migration when it was threatened at the turn of this century with unlimited influx from countries around the world. Had the immigration laws not become more restrictive, the level of attractiveness in the United States could be no higher than any other country's. Its population would have grown sufficiently to exhaust its resources. Yosemite Park, one of the nation's most beautiful national parks was made more accessible to the public via a new road system. This ease of accessibility has attracted people to Yosemite. Today the crowds are so great that the park service is attempting to restrict entry to the park in order to save it [Ref. 19].

Some artificial barriers to migration between cities do exist. These are largely economic barriers. The barrier that exists between central cities and their suburbs, for instance, is an economic barrier. Residential zoning requiring large plots of land and large houses has restricted all but the well-to-do from entry into the suburban community. To a lesser extent, racial discrimination has also raised barriers to migration between city and suburb. I do not wish to argue the merits or fault of artificial restrictions to migration. It is enough to say that such economic barriers and discriminatory policies are not currently available to the central city. If the central city is to solve its urban problems, it must do so by explicit recognition of its inability to maintain an overall attractiveness substantially higher than that of the environment

3-9 URBAN TRADE-OFFS AND ATTRACTIVENESS

In order to be effective, urban programs must involve trade-offs. Since we cannot hope to raise the attractiveness of the city we must instead concentrate upon shifts among the various components of urban attractiveness. We must identify the areas of city life which a city's residents deem most crucial. By de-emphasizing the less important aspects which its residents are willing to give up in return, the quality of urban life might be raised without raising the overall attractiveness of the city.

One of the basic urban problems is poverty. Efforts to raise the economic status of a city's residents are often given first priority. If programs to raise the economic well-being take the form of welfare payments, low-cost housing, increased job training, or special employment programs, they will attract others from outside the city. The question is then raised: what must the city give up if its relative attractiveness to outsiders is to remain unchanged? If new programs provide jobs for city residents, then the programs must take something away to keep newcomers from competing for those jobs. Unfortunately a city has few things that give it sufficient leverage to offset the attractiveness due to the availability of more jobs.

The list of possible negative counterbalances can be divided into two categories, economic and social. Economic counterbalances are those which make the city less attractive from an economic point of view. They increase the cost of living in the city. There are many devices for accomplishing this end; increased taxes, increased cost of living through higher prices, lower wage rates, and even automobile insurance laws can all tend to create economic counterbalances. Unfortunately, if the goal of a city administration is to raise the economic well-being of its residents, it can hardly rely upon economic counterbalances to discourage in-migration. Any gains that it might make through providing additional jobs would be eliminated by the counterbalances. Thus, the city's forced social counterbalances are those which decrease the quality of urban life. They can take many forms. A decrease in housing space, a poor transportation system, a low quality of urban services, a rising crime rate, fewer parks or higher pollution---all are examples. Many

of these social counterbalances are undesirable, infeasible or ineffective. Some of them have very little leverage in determining migration.

We must concentrate on those high leverage counterbalances which make up a significant portion of the composite attractiveness of a city, and which are politically practical in the sense that the residents of a city might be willing to trade them for increased economic affluence.

Housing, perhaps, has the greatest leverage; a lack of housing or a tight housing market will act as a deterrent to in-migration. Scandanavian cities, for example, are known for their continual housing shortage and lack of slums. A poor transportation system or a congested central city is another possibility, although perhaps less sensitive than housing. A third, and as yet unexplored area of counterbalance may be to put some self-imposed limits on the individual freedom of the residents of a city. These limits may take the form of curfews, repressive liquor laws, or some form of regimentation. Obviously, such a system could not be implemented without the full cooperation of the residents themselves. Such trade-offs, however, are difficult to discuss in the abstract. They must be tailored individually for each city The important point is that if the economic well-being of a city's residents is to be improved, such tradeoffs must be made.

Urban Dynamics describes some of these trade-offs in analyzing the effects of various urban programs on the city. Model simulations show that programs for increasing housing, jobs training, financial aid, tax subsidies and increased employment all produce the type of urban failure illustrated earlier. They do not succeed in raising the quality of life in urban areas, because migration and the consequent negative counterbalances offset any gains they initially achieve.

Our research indicates, however, that some programs do succeed in making gains in raising the economic standards of the residents of the city. Programs which encourage the construction of new enterprises in the city to provide jobs for residents and at the same time discourage increased migration by limiting the amount of housing available in the city, tend to produce an increased upward mobility among the residents and to hold in-migration fairly constant. Part of this program is effected by demolishing slum housing and constructing new industrial parks in its place. Thus, the amount of housing is limited and, at the same time, the number of jobs is expanded.

Figures 7 and 7a indicate the major changes which result from this policy. Such a program involves a trade-off, of course: jobs for housing. It is a conscious choice, however, one that the residents of any city can make for themselves. The urban model permits us to analyze similar policies and programs which can have a beneficial effect upon the city Combinations of programs can be structured which do not drive out the poor but rather force them up the economic ladder.

3-10 THE STRUCTURE OF URBAN PROGRAMS

Our staff at M.I.T. is now engaged in a continuing research effort to identify additional ways in which the city can make use of negative counterbalances to raise the well-being of its residents. Urban programs designed in this way will succeed in reaching their goals, because they are designed to operate within the system. They will take advantage of the system behavior to produce a new equilibrium point that is in harmony with the desires of its residents. Traditional urban programs have ignored the concept of equilibrium and negative counterbalances and, in attempting to raise the attractiveness of a city, have met with ultimate failure.

The adoption of policies such as are suggested by the Urban Dynamics analysis and the trade-offs which it requires will enable any city to become better off than it once was. Each of these cities, in a sense, can raise its attractiveness to its own residents and decrease its attractiveness to outside migrants by selectively focusing upon the internal trade-offs which its residents prefer. Urban pressures will not disappear for such pressures will always exist. What we have failed to realize before is that we can choose which set of pressures we are willing to tolerate in order to achieve the broader goals of society.

Through enlightened urban policies, it is possible for this country to move into an era of a new urban prosperity that would be quite different from the era of urban problems which we face today. To do so requires a concentration of will, both on the part of the city residents in adopting trade-off policies and negative counterbalances, and on the part of our national and state administrators and politicians in adopting policies which will further this process. At the center of such a process is the use of dynamic modeling techniques to evaluate new programs and

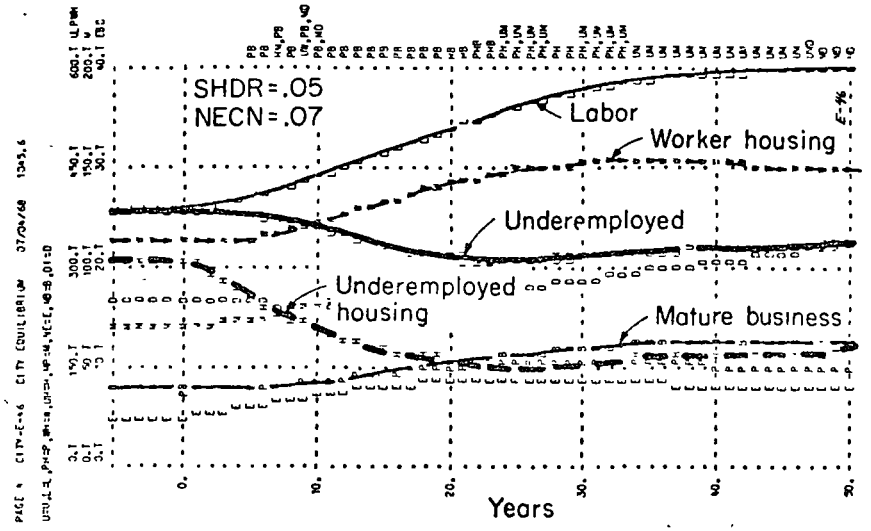


Figure 7

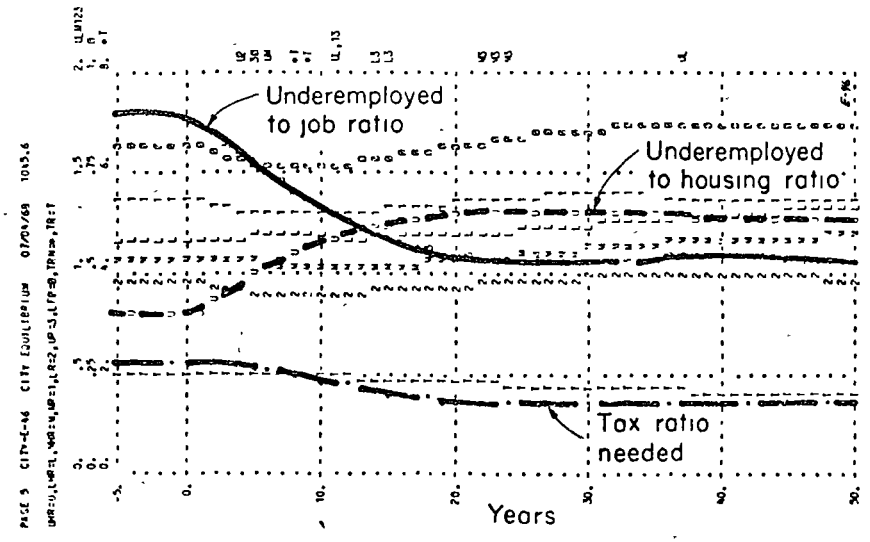


Figure 7a

Effect of Jobs for Housing Trade Offs

suggest ways for improving old ones. The application of the systems approach to the city promises tremendous benefits. It far offsets the price that we must pay to get them.

What we hope you will gather from this article is the understanding that efforts to raise the attractiveness of a city either through making it operate more efficiently or by the introduction of new programs, must be combined with specific programs of negative counterbalances if urban problems are actually to be solved. By working within the conceptual framework which were outlined, we should all now be able to produce solutions which have a far greater chance of success in addressing urban problems than those of the past. We can begin to look forward to the day when we can once again reclaim our cities as places in tune with our own aspirations and a true reflection of our own goals.

REFERENCES

1. Statistical Abstract of the U.S. 1969.
2. "Present Federal Programs", mimeo 150 pp., Laboratory for Environmental Studies, MIT, 15 November 1968.
3. Boston Globe, 18 October, 1970.
4. "Crime Expense", U.S. News and World Report, 26 October, 1970.
5. "Welfare Dilemma", Wall Street Journal, 17 September, 1970.
6. "Rapid Transit", New York Times, 1 June, 1970.
7. "Slums", Christian Science Monitor, 23 September, 1970.
8. "Local Tax Rates", Boston Globe, 6 September, 1970.
9. "Smog", Time, 10 August, 1970.
10. "Area Trends in Employment and Unemployment", U.S. Dept. of Labor, Manpower Administration, March, 1967-June, 1970.
11. "Decline of Bronx", New York Times, 13 October, 1970.
12. Forrester, Jay W., Industrial Dynamics, M.I.T. Press, 1962.
13. Forrester, Jay W., Urban Dynamics, M.I.T. Press, 1968.
14. U.S. Bureau of Census, Population Studies.
15. Lowery, Iras., Migration and Metropolitan Growth: Two Analytical Models, 1966.
16. U.S. Bureau of the Census; Population Changes, 1960-1970.
17. Dasmann, Raymond F., The Destruction of California, T' MacMillan Co., New York, 1965, p. 21.

18. "Low-Cost Housing Shortage", Christian Science Monitor, 28 August, 1970.
19. "Siege and Conquest of a National Park: Admission of Automobiles", American West, Vol. 5, January, 1968, pp. 28-31.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

UN SISTEMA DE MODELOS PARA LA PROSPECTIVA DEL DESARROLLO DE MEXICO

Dr. Felipe Lara Rosano

Junio-Agosto, 1977.

UN SISTEMA DE MODELOS PARA LA PROSPECTIVA DEL DESARROLLO DE MEXICO

Dr. Felipe Lara Rosano
Fundación J. Barros Sierra A C

INTRODUCCION

La elaboración de escenarios de referencia es una técnica útil para la prospección del desarrollo de un sistema social, porque indica las formas cómo éste se manifestaría en el futuro suponiendo que se conservasen invariables las tendencias presentes de su desarrollo. Este método de investigación, al proyectar dichas tendencias a horizontes lejanos de veinticinco o más años, provoca que las contradicciones dialécticas inherentes a los sistemas sociales, que pueden pasar inadvertidas a un analista del presente, se hagan patentes en el proceso de simulación permitiendo, no sólo descubrirlas, sino apreciar su potencialidad como fuentes de nuevas oportunidades. Así, por ejemplo, una proyección de referencia de la población del Distrito Federal al año 2000 revelaría una población de treinta millones de personas concentradas en una zona semiárida sin los recursos locales suficientes para un sano desarrollo como agua, alimentos, energéticos, empleos, viviendas, inversiones, etc. Esto indica la existencia de contradicciones en este sistema urbano que tendrán que resolverse de algún modo, pues es imposible la supervivencia física de treinta millones de personas en esas condiciones.

Esta técnica proyectiva simple puede convertirse en una herramienta para la exploración de diversas alternativas futuras, si se deja de considerar el sistema social como determinístico y se incorporan en el proceso de modelado las acciones de quienes toman decisiones.

La forma más simple de tener en cuenta diversas decisiones en un modelo es substituir cada una de las situaciones de decisión relevantes por una variable, llamada variable de escenario, que puede tomar valores correspondientes a los diferentes cursos de acción disponibles al decidente. Por ejemplo, en un modelo demográfico en el que interesara explorar la posibilidad de implantar una regulación de los nacimientos, podríamos imaginar tres variables de escenario, una, que indicaría simplemente si se toma o no la decisión de regular los nacimientos, otra que indicaría cuál sería la tasa de natalidad tomada como meta de la política y una tercera que indicaría el tiempo necesario para la implantación de esta política como una efectividad del 100%.

El primer paso para convertir un modelo de proyección en un modelo de exploración de alternativas de decisión consiste, entonces, en determinar las acciones de decisión más relevantes para los fines que se persiguen. Es importante considerar únicamente acciones de decisión relevantes, porque el número de alternativas a analizar posteriormente crece exponencialmente con el número de opciones y éso involucra una gigantesca capacidad de análisis que generalmente no se tiene a disposición.

Una vez que se han definido las acciones de decisión más relevantes, se determina, para cada una de ellas, el tipo y número de variables de escenario suficientes para describir los cursos de acción más relevantes. Así, en el ejemplo de política demográfica anterior, se consideró que las variables de escenario determinadas describían suficientemente los cursos de acción disponibles, pero ésto puede variar según el caso. Por ejemplo, se podría pensar en introducir, junto con las otras variables, una más que describiera decisiones en torno al problema del aborto, si este tema fuera considerado relevante a los propósitos de la investigación.

Los valores que pueden asignarse a las variables de escenario pueden ser puntuales, es decir, constantes para todos los años que abarca la simulación o pueden

estar expresados en forma de una serie de tiempo, asignándoseles diferentes valores en diferentes años, de acuerdo con una cierta estrategia. Por ejemplo, si la variable de escenario es el precio que se va a fijar al petróleo exportado, se puede pensar en una estrategia de aumento, por ejemplo exponencial, del precio del petróleo a medida que las reservas mundiales del energético vayan disminuyendo.

Una vez que se han definido, tanto las situaciones de decisión más relevantes como las variables de escenario que las describen, se diseñan los escenarios simulados. Teóricamente es posible definir un escenario para cada combinación de variables de escenario. Sin embargo, en la práctica, hay muchas de estas combinaciones que se desechan por improbables, imprácticas, inconsistentes o imposibles. Por ejemplo, un escenario que suponga que no hay regulación natal y que fije como meta una tasa dada de natalidad e inconsistente. Un escenario que suponga que hay regulación natal y que fije un período de implantación de cien años es impráctico, en tanto que otro que adopte un período de implantación de diez años será improbable. Después de filtrar los escenarios teóricamente posibles desechando los imprácticos, improbables, inconsistentes, triviales y no factibles, los que quedan son los futuros alternativos que hay que explorar y que sirven de base a las corridas del modelo.

UN SISTEMA DE MODELOS PARA EXPLORAR FUTUROS ALTERNATIVOS

El centro de investigación prospectiva Fundación Javier Barros Sierra A C está desarrollando un sistema de modelos para explorar futuros alternativos de México en coordinación con el Club de Roma y Mihajlo Messarović de la Universidad Case Western Reserve. A la fecha se ha integrado un sistema básico formado por un modelo demográfico, un modelo económico y un modelo de alimentos. Para el modelo demográfico se ha contado con la asesoría de El Colegio de México y para el programa de computadora con la colaboración del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Cada uno de los tres modelos es de tipo muy elemental, con el fin de que el ensamble de los tres en un sistema de modelos no ofreciera grandes dificultades. Habiéndose logrado el funcionamiento adecuado de este sistema, se está en proceso de desarrollar cada uno de los modelos componentes de manera que reflejen

con mayor fidelidad la problemática nacional.

ESQUEMA DEL MODELO DEMOGRAFICO

El modelo demográfico consta de cuatro bloques de ecuaciones:

a) Cálculo de nacimientos

b) Cálculo de muertes

c) Cálculo de calorías demandadas por la población

d) Cálculo de proteínas demandadas por la población.

Estos bloques de ecuaciones actúan sobre los datos iniciales de población, tomados de los censos demográficos, en los que dicha población se ha dividido en ochenta y siete cohortes de edad de acuerdo con el año de nacimiento.

En esta forma, para el cálculo de nacimientos, se aplica a cada cohorte la tasa de fecundidad que le corresponda, sumando después los resultados. Las muertes se calculan en la misma forma, aplicando a cada cohorte la tasa de mortalidad respectiva y sumando los resultados. Estas muertes se denominan "muertes naturales", para distinguirlas de las muertes por inanición que aparecen en ciertas alternativas por falta de alimentos.

Es factible, asimismo, introducir en el cálculo de los nacimientos los efectos de una política de control natal, modificando en forma adecuada las tasas de fecundidad de las distintas cohortes. Esta modificación puede hacerse gradualmente, a lo largo de cierto número de años, mediante el empleo de una subrutina del modelo.

El cálculo de calorías y proteínas demandadas por la población se realiza en forma similar, calculando para cada cohorte sus requerimientos particulares y sumando después los resultados. Estos requerimientos totales se envían al Modelo de Alimentos, donde se comparan con las calorías y proteínas producidas. Si hay un déficit alimenticio y en la simulación respectiva no se importan alimentos, el déficit regresa al Modelo Demográfico donde es transformado, mediante ciertas funciones, en una tasa incrementada de mortalidad para cada cohorte, que provoca, a su vez, un incremento en las muertes, que constituye el renglón de "muertes por inanición".

El modelo demográfico, a partir de la población inicial, los nacimientos y las muertes, calcula la población correspondiente a cada año de la simulación, así como también la tasa de incremento demográfico, la mortalidad infantil y las tasas brutas de natalidad y mortalidad correspondientes.

La población interviene en el modelo económico para el cálculo del producto per cápita y la fuerza de trabajo.

En versiones más elaboradas de este modelo se agrupará la población, no sólo en cuanto a su edad, sino en cuanto a su nivel socio-económico y su categoría rural o urbana con el fin de proyectar también la distribución del ingreso. Asimismo, se integrará un submodelo de educación y recursos humanos que deberá interactuar con el modelo económico y con el demográfico.

El esquema de bloques de este modelo se representa en la figura 1.

ESQUEMA DEL MODELO ECONOMICO

El modelo económico consta de tres bloques de ecuaciones:

a) Cálculo del producto interno

b) Distribución del producto en utilización final

c) Distribución de la inversión y formación de capital sectorial.

Para el cálculo del producto interno, se considera la economía dividida en cuatro sectores: sector agropecuario, sector de industrias extractivas, sector de industrias de transformación y sector de servicios. Cada uno de estos sectores tiene un capital propio y una productividad del capital específica. El modelo supone que, en los alrededores del punto inicial, la relación capital/producto se mantiene constante para cada sector, por lo que, conociendo el capital al inicio del período y su productividad, se puede determinar el valor del producto en cada uno de los cuatro sectores. La suma de los cuatro productos será el producto bruto interno de la economía. A medida que la simulación avanza, es factible cambiar los valores de las productividades del capital, por ejemplo, para tener en cuenta los cambios tecnológicos.

El producto bruto interno se distribuye, para su utilización final, en los siguientes rubros:

i) Consumo privado

ii) Consumo de gobierno

iii) Exportaciones

iv) Inversión

mediante factores de distribución que se determinan, para los años iniciales de la simulación, a partir de valores históricos. Estos factores de distribución pueden variarse a lo largo de la simulación para dar, por ejemplo, mayor énfasis a la inversión que al consumo, mediante la utilización de variables de escenario.

La inversión total se distribuye entre los cuatro sectores de la economía con arreglo a factores de distribución obtenidos de las tendencias históricas y que, a lo largo de la simulación, pueden variarse convirtiéndose también en variables de escenario.

La inversión en cada sector se incorpora al capital disponible respectivo, al cual se le resta la fracción correspondiente a la depreciación. El resultado es el capital sectorial neto disponible para la obtención del producto en el siguiente ciclo.

El sector externo se trata a nivel muy simple. Las importaciones se consideran como un porcentaje del producto interno, que depende de cifras estadísticas y que también puede variar al constituirse en una variable de escenario. La diferencia entre exportaciones e importaciones da el saldo de la balanza comercial.

En subsecuentes niveles de complejidad, se integrará un submodelo del sector externo en el que se incluirá la deuda externa, el financiamiento externo y los pagos a factores del exterior con el fin de proyectar la balanza de pagos y el nivel de endeudamiento externo.

Asimismo, se desglosará la actividad económica en un número mayor de sectores, se tratará de incorporar los efectos de la tecnología y la educación en la productividad y se tratará de cerrar el modelo a través de la distribución del ingreso, la generación de demanda y la producción mediante la aplicación de técnicas de insumo producto. El esquema de bloques del modelo económico se representa en la figura 2.

ESQUEMA DEL MODELO DE ALIMENTOS

El modelo de alimentos consta de ocho bloques de ecuaciones:

a) Distribución de la inversión agropecuaria entre desarrollo de nuevas tierras, irrigación y fertilizantes

b) Cálculo de tierras cultivables de riego y temporal

c) Distribución de tierras de riego y temporal entre actividades agrícolas y pecuarias. Distribución de las tierras agrícolas entre cultivos de cereales, no cereales e insumos industriales

d) Distribución de fertilizantes entre los tipos de cultivos

e) Cálculo de la productividad de la tierra para cada tipo de tierra y cultivo

f) Cálculo de la producción agrícola para cada tipo de cultivo

g) Cálculo de las cantidades de proteínas y calorías disponibles para la alimentación de la población

h) Cálculo del ingreso y de la reinversión en el sector agropecuario.

En todos estos bloques de ecuaciones se utilizan modelos lineales simples, excepto en el cálculo de productividad de la tierra donde se utiliza un modelo no lineal dependiente de la irrigación y los fertilizantes.

Como resultado de este modelo de alimentos se tienen las cantidades de calorías y proteínas disponibles para la alimentación de la población, que se comparan con las cantidades demandadas que provienen del modelo demográfico para determinar si existe déficit de alimentos. Si hay déficit, las importaciones necesarias para neutralizarlo se agregan al rubro de importaciones del modelo económico, si no hay restricciones al respecto. Si variables de escenario restringen la importación de alimentos, el déficit repercute en la mortalidad por edades dentro del modelo demográfico.

El esquema de bloques del modelo de alimentos se representa en la figura 3.

FUTUROS ALTERNATIVOS EXPLORADOS CON EL SISTEMA

Utilizando este sistema básico de modelos, se configuraron diversos futuros alternativos.

Para fines de prueba del sistema, se formularon cinco situaciones relevantes de decisión:

1) Si se implanta o no una regulación de la natalidad en un período de 25 años

2) Si se importan o no alimentos

3) Si se aumenta o no del 9% al 18% la inversión total en el sector agropecuario, reduciendo en partes iguales la inversión en los sectores industrial y de servicios

4) Si se eleva o no la inversión total del 15% al 25% del producto nacional bruto

5) Si se elevan o no las exportaciones hasta un 5% del producto nacional bruto

Combinando todas estas opciones es posible teóricamente obtener 2^5 o sea 32 escenarios diferentes, pero para los fines de la simulación se decidió considerar únicamente cuatro alternativas:

a) La alternativa de referencia, en la que
   -no se implanta una regulación natal
   -se importan los alimentos necesarios
   -no se aumenta la inversión total, ni la agropecuaria, ni se elevan las exportaciones

b) La alternativa de escasez de alimentos, en la que
   -no se implanta una regulación natal
   -no se pueden importar alimentos por una escasez mundial
   -no se aumenta la inversión total, ni la agropecuaria, ni se elevan las exportaciones

c) La alternativa de regulación natal, en la que
   -se implanta una regulación natal a partir de 1977
   -se importan los alimentos necesarios
   -no se aumenta la inversión total, ni la agropecuaria, ni se elevan las exportaciones

d) La alternativa de regulación natal y cambio económico, en la que
   -se implanta una regulación natal a partir de 1977
   -por razones exógenas no es posible importar alimentos
   -se aumentan las inversiones y se elevan las exportaciones en las proporciones indicadas al principio de la sección

RESULTADOS OBTENIDOS

a) *Alternativa de referencia.*- La población del país sube de 60 millones en 1975 a 146 millones en 2000 y 362 millones en 2025. La tasa bruta de crecimiento demográfico sube ligeramente de 3.4% a 3.55%. El ingreso per cápita baja de 540 dólares de 1963 en 1975 a 450 en 2025. El producto nacional bruto sube de 32.6 a 163.4 miles de millones de dólares de 1963 entre 1975 y 2025. No hay muertes por inanición, pues se importa el alimento que se necesita.

b) *Alternativa de escasez de alimentos.*- La población del país sube de 60 millones en 1975 a 137 millones en 2000 y 249 millones en 2025. La diferencia principal con la alternativa de referencia es que, debido a la imposibilidad de importar alimentos, empiezan a aparecer muertes por inanición a partir de 1981. Esta situación, a la larga, se traduce a fortiori en una población menor al final del período.

c) *Alternativa de regulación natal.*- La población del país sube de 60 millones en 1975 a 121 millones en 2000 y 191 millones en 2025. Compárense estas cifras con los 146 millones en 2000 y 362 millones en 2025 de la alternativa de referencia. La tasa bruta de crecimiento demográfico disminuye de 3.4% en 1975 a 2.0% en 2000 y a 1.55% en 2025. No hay muertes por inanición.

d) *Alternativa de cambio económico.*- Como hay regulación natal, la población del país alcanza las mismas cifras que la alternativa anterior. Debido a la política de inversión, a pesar de que no es posible importar alimentos, prácticamente no se presentan muertes por inanición. El producto per cápita sube de 540 dólares de 1963 en 1975 a 1430 en 2000 y a 4790 en 2025. El producto nacional bruto sube de 32.6 millones de dólares de 1963 en 1975 a 174 millones en 2000 y a 912 millones en 2025, quintuplicándose cada veinticinco años.

CONCLUSIONES

Se ha presentado una técnica prospectiva que permite explorar opciones futuras incorporando en el modelo variables que toman en cuenta acciones relevantes de decisión. Se ha demostrado la utilidad de esta técnica mediante un sistema simple de modelos que interactúan entre sí. Este sistema de modelos está en su primera etapa de desarrollo y se espera que en el futuro ofrezca a quienes toman decisiones la oportunidad de evaluar más fácilmente sus alternativas.

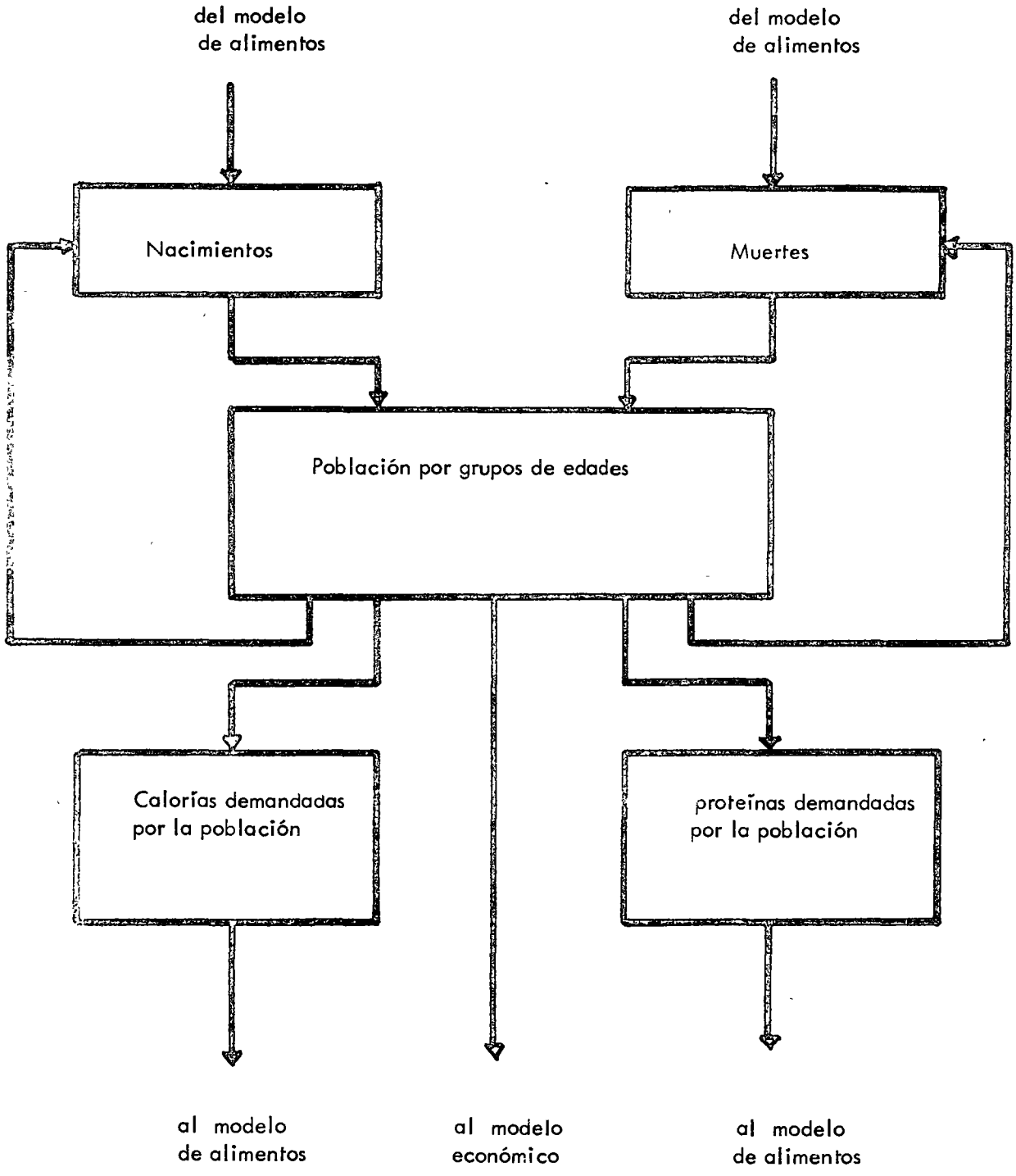


Figura 1. Esquema del modelo demográfico

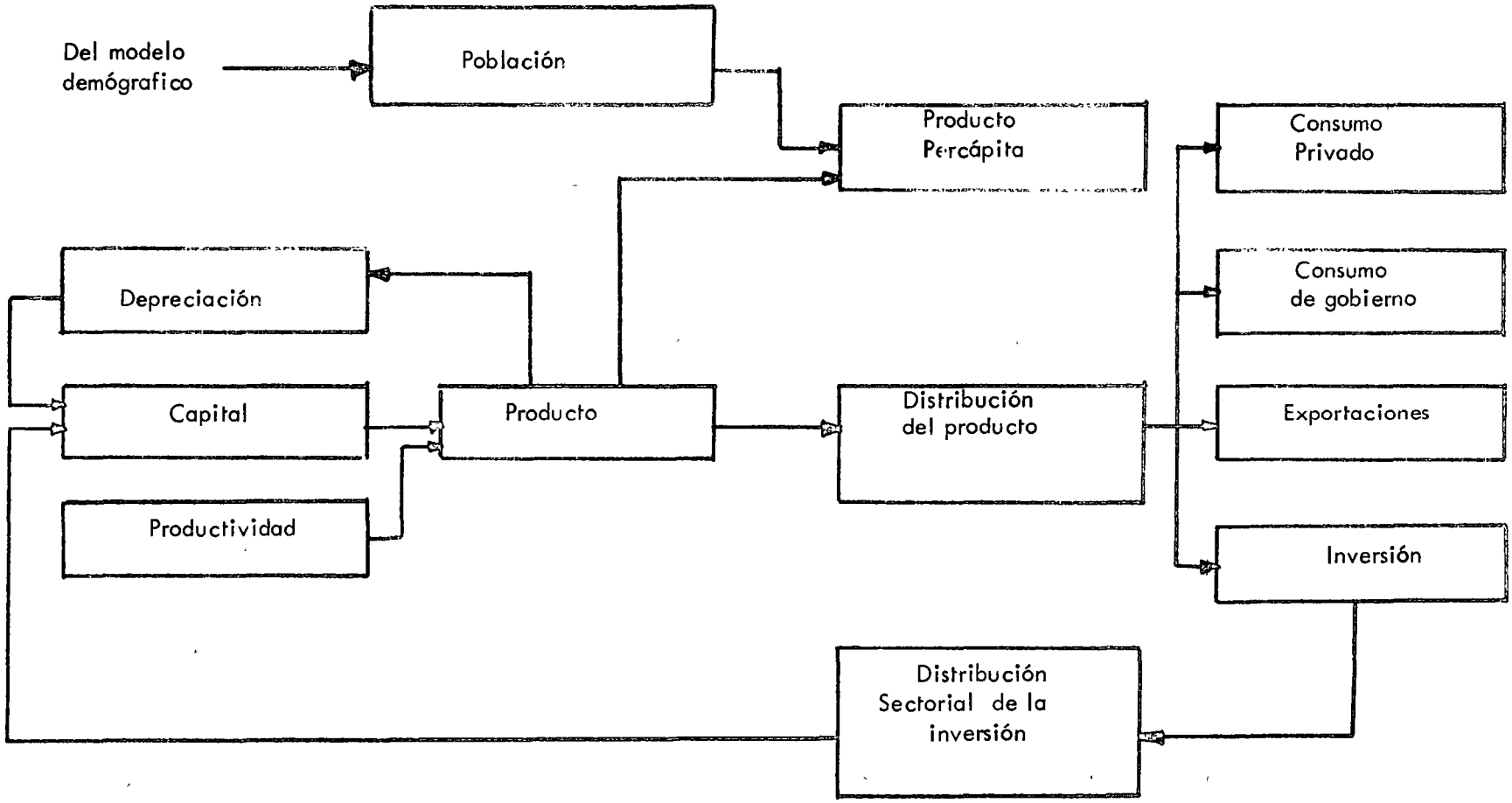


Figura 2. Esquema del modelo económico

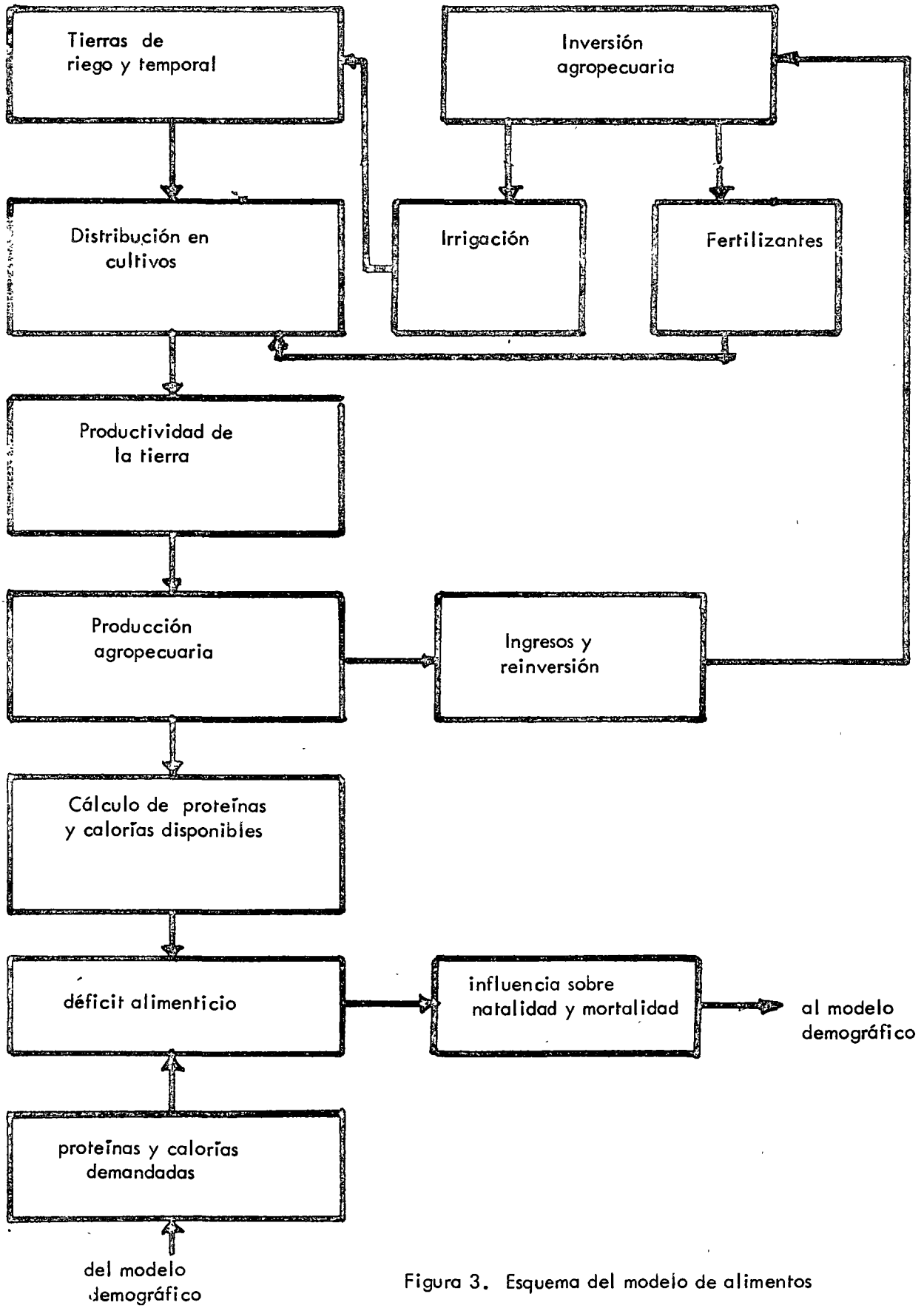


Figura 3. Esquema del modelo de alimentos

BIBLIOGRAFIA

Ackoff, R.L. *Redesigning the Future: A Systems Approach to Societal Problems*. New York: Wiley, 1974.

Ackoff, R.L., F.E. Emery. *On Purposeful Systems*. Chicago: Aldine-Atherton, 1972.

Lara, F., *et al.* *Modelo para la elaboración de escenarios de referencia sobre el desarrollo de México*. México: Fundación Javier Barros Sierra A C, reporte interno, 1976.

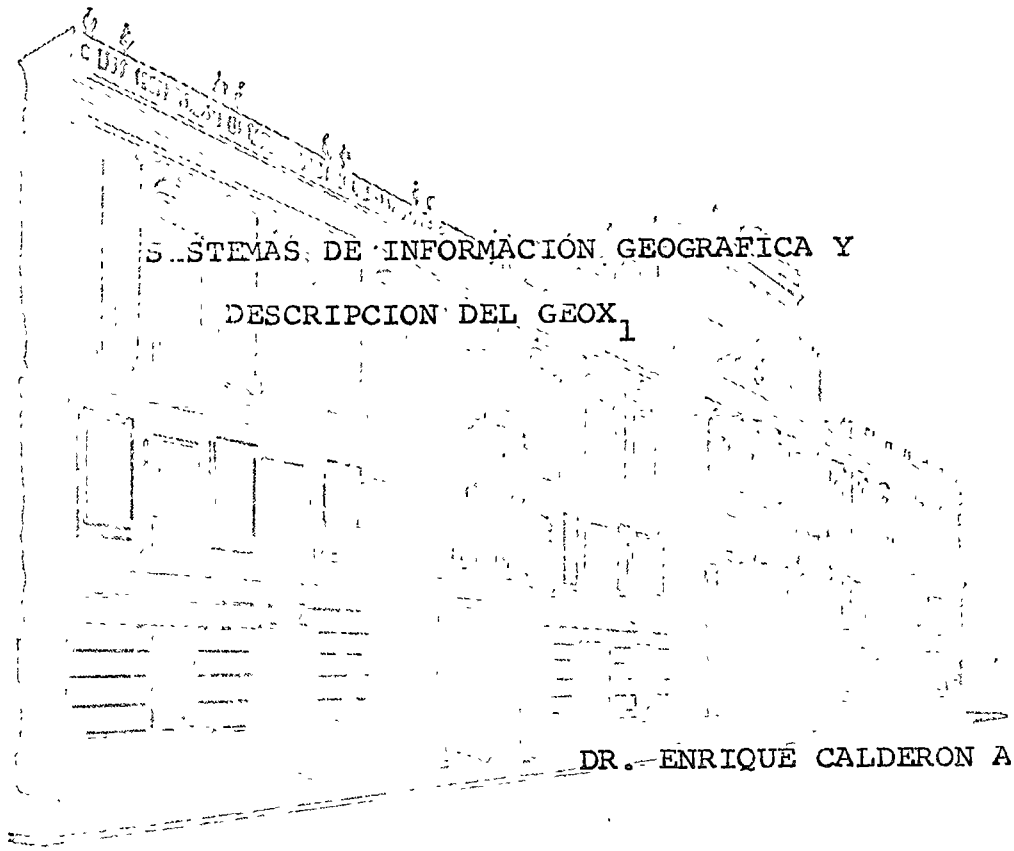
Mesarović, M., E. Pestel. *La humanidad en la encrucijada: segundo informe al Club de Roma*. M.A. Cárdenas, (tr.) México: Fondo de Cultura Económica, 1975.

Sachs, W.M. "On the Mathematical Method and Future Problems". *Technological Forecasting and Social Change*, (to be published).

Systems Research Center, Case Institute of Technology, Case Western Reserve University. *APT-System: A Computer Based Tool for Assessment of Alternative Policies: An Aid in Planning*. Cleveland: Case Western Reserve University, 1975.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS



SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA Y DESCRIPCION DEL GEOX$_1$

DR. ENRIQUE CALDERON ALZATI

Junio-Septiembre, 1977.

1. INTRODUCCION.

En México como en otros países subdesarrollados, la tecnología de la información está propensa á jugar un papel vital, ya que representa la única posibilidad para el país, de adquirir una conciencia propia de sus problemas, recursos y limitaciones, y para relacionarlos con las luchas sociales internas y los procesos económicos y con los externos.

La tecnología de la información tiene un papel dual: primero como un instrumento esencial para la planeación racional, dirección, evaluación y control que será usado en las dependencias gubernamentales y corporaciones, y segundo, como un instrumento para la conciencia libre y colectiva de la población. Un instrumento para la libertad, ya que la libertad representa la posibilidad de escoger entre diferentes alternativas, cuyo conocimiento es adquirido a través de la información. Un instrumento para la conciencia social, ya que el comportamiento responsable, depende del conocimiento real que la gente tenga sobre su contexto humano, sus limitaciones, y las posibles maneras de superarlas.

Todo esto revela la enorme necesidad de desarrollar la tecnología e infraestructura requerida para establecer un sistema de comunicación a través del cual, la regulación de la retroalimentación puede fluir entre la población y el gobierno.

Tal esfuerzo llevaría a la implantación de facilidades de planeación regional y

sectorial para todas las dependencias gubernamentales y a un conjunto de servicios de información a través del cual los ciudadanos tuvieron acceso a los datos relevantes.

El sistema propuesto para soportar estas actividades debe ser una imagen de la realidad, mediante el cual se puede localizar el proceso de planeación en toda su magnitud. Una estructura general de tal sistema debe incluir:

- El proceso de toma de decisiones. Donde todas las dependencias del sector público estarían representadas mediante sus funciones y jerarquias. Esto permitiría conocer las fuentes de diferentes tipos de decisiones y funcionaría como un mecanismo de regulación y control en el sistema.

- Un concepto de espacio geográfico, cuyo beneficio principal sería el conocimiento de las situaciones regionales y sus características de desarrollo, así como el impacto geográfico de las decisiones. Este concepto representa el espacio de acción del sistema e incluiría información con varios niveles de agregación.

- Un lapso de tiempo para la evaluación del impacto de las decisiones, la detección de ciertas variaciones de fenómenos y ciclos mediante análisis de series de tiempo así como la posibilidad de pronosticar el comportamiento de algunas variables. Este concepto, proporciona al sistema la capaci-

dad de cambiar con bases reales, esto es, un comportamiento adaptiv

- Existen muchos casos de información cuya referencia a la geografía es secundaria, algunos ejemplos se pueden encontrar en la distribución del presupuesto sectorial y el control del presupuesto, en la dinámica de precios del mercado, en algunos aspectos de planeación urbana en calidad de productos y catálogos de productores y todos los casos en los que se toman muchas decisiones relevantes a la economía de los países sin hacer referencia a los conceptos geográficos. Tal componente adicional debe ser establecida en el sistema, con una operación que permita la organización de los conceptos antes mencionados.

Entre las diferentes posibilidades de implantar tal idea, aquellas orientadas a una superestructura central, deben ser descontadas a causa de los problemas políticos y riesgos que envuelven; en su lugar, fué escogido un esquema descentralizado. Tal esquema, a pesar de la complejidad en la técnica, presenta medias ventajas, siendo su factibilidad una de ellas, tal como lo ha comprobado la realización actual.

Este documento está dedicado a discutir los aspectos tocantes a la tecnología, marco y políticas del concepto geográfico y su estado actual.

2. EL ESQUEMA GEOGRAFICO.

La organización de la información alrededor de los conceptos geográficos, responde a una demanda general de la mayoría de las dependencias gubernamentales, con el propósito de hacer la planeación regional. El tipo de información requerida para este propósito está principalmente dirigida hacia la representación de ciertos fenómenos socioeconómicos y dependiendo de los objetivos que se deban llevar a cabo en el análisis de los datos, existen varias maneras de organizarla.

El esquema geográfico propuesto como la estructura central de datos está formado por cuatro niveles, que corresponden a divisiones políticas formales (esto fué hecho principalmente para tener disponibles los datos recolectados de los países, poblados, etc.); aunque al nivel más desagregado se intenta ligar estas divisiones con coordenadas geográficas.

2.1. Primer Nivel.

En este primer nivel, se considera al país como un sistema de entidad individual, ese medio ambiente es el contexto internacional y donde todos los demás países son considerados así mismos unidades; aunque en algunos casos, algunos países se juntan para formar una unidad. Los datos relevantes para este nivel deben describir el camino del desarrollo de todos los países; su crecimiento demográfico y composición de la población; su pro-

ductividad industrial y agrícola; su comercio interior y exterior, servicios públicos, turismo; deuda pública y quizás sus contradicciones más fuertes, tal como las diferencias urbanas.

La principal aplicación de este nivel se encuentra en las áreas de comercio internacional y tratados internacionales, pero puede ser usado también como un esquelato para estudiar y evaluar problemas internos. Este tipo de datos puede ser obtenido por medio de algunas instituciones internacionales, entre ellas:

- Oficinas de las Naciones Unidas[1].
- Organización de los Estados Americanos .
- Bancos Internacionales.
- Diarios sobre Economía y Finanzas.

2.2. Segundo Nivel.

En el segundo nivel un país puede ser dividido en regiones legalmente autónomas, cada una de esas entidades consideradas como unidades, donde los datos que respectan a figuras y proyecciones demográficas, recursos naturales, producción agrícola e industrial, récords de impuestos, distribución de presupuesto y servicios públicos, se producen, se almacenan, y se usan para desarrollar e implantar las estrategias de planeación regional o programas sec-

toriales, así como para evaluar sus efectos. Las principales fuentes de datos en este nivel son algunas oficinas centrales o federales del estado, así como los censos de población, agrícolas y económicos.

En el caso de México, el país está formado por 32 entidades federales con gobiernos elegidos en el lugar que son legalmente autónomos de tal manera que pueden ser considerados como regiones políticas separadas - que deberían tomar sus propias decisiones económicas en base a una - fuerte coordinación central.

2.3 Tercer Nivel

Ya que las entidades federales usualmente son estructuras muy complejas, localizadas en territorios extensos y heterogéneos, donde se encuentran ciudades y pueblos de muy diferentes características, el segundo nivel de la estructura no está muy bien ajustado para mucho detalle. Esto se debe al alto grado de centralización de las actividades económicas en las ciudades principales que generan más servicios, mejores condiciones de vida y más alta productividad comparada con las condiciones que prevalecen en los pueblos pequeños. Cuando se manejan datos agregados para cada entidad, estas diferencias se desvanecen y los resultados de las estrategias y programas de planeación para el desarrollo de las regiones,

podrían distorcionarse. Un tercer nivel debe ser considerado manejando el concepto de municipio, encontrado en muchos paises. Para el caso de México, el territorio está dividido en 2043 municipios, siendo cada uno de ellos una unidad políticamente independiente formada por varios pueblos o rancherías, que normalmente tienen una ecología y recursos naturales homogéneos. A pesar de que los datos acumulados en este nivel no son tan abundantes como en el segundo o el primer nivel, el Censo Nacional usa el municipio como una de sus unidades de agregación para publicaciones y operación. Tambien otras oficinas siguen este criterio en su recolección y procesamiento de información. Entre ellas:

- La oficina de Estadísticas Vitales
- La Secretaría de Educación Pública
- La Secretaría de Comercio
- La Secretaría de Programación y Presupuesto

El nivel municipio ha alcanzado gran importancia en los últimos meses, cuando muchas oficinas centrales y estatales empiezan a usarlo en su proceso de planeación.

2.4 Cuarto Nivel

Aunque la información a nivel municipio ha sido comprobada suficiente

para detectar problemas regionales y generar estrategias y programas para el desarrollo regional, se requiere alguna información más detallada, ya sea para complementar estudios y programas, o en decisiones operativas. Por esta razón, ha sido formado un cuarto nivel de información, en el cual el objeto de estudio es el poblado, estando aquí la información de interés, localización geográfica, población total, comunicaciones, educación, servicios principales, hábitos de consumo y comportamiento antropológico general. Este cuarto nivel de información debería complementarse con recursos naturales, condiciones ecológicas, configuración y uso de la tierra. Esta información puede ser recolectada, procesada y almacenada, ligada con una estructura de red y presentada en forma de mapa geográfico.

En México existen 97,580 localidades, el 93% de ellas con menos de 1000 habitantes. Ya que los medios de comunicación para esta gente no son muy eficientes, obviamente, padecen de una gran falta de información. Por lo tanto, la información en este cuarto nivel juega un papel dual. El primero es su utilidad para el proceso de planeación central y distribución de recursos; el segundo concierne a la posibilidad de informar a la gente sobre su nuevo medio ambiente en un esfuerzo por otorgar herramientas educacionales que vayan de acuerdo a las realidades regionales. A este respecto, la representación en gráficas se considera como instrumento crucial.

3. UNA FAMILIA DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICOS COMPUTARIZADOS

Una vez que las estructuras de la información han sido introducidas en términos generales, y se han establecido los objetivos principales, es importante presentar la tecnología de cómputo requerida para el manejo y la utilización de la información.

Una parte muy significativa de tal tecnología está actualmente en operación para cada uno de los cuatro niveles, y está representada por tres sistemas computarizados con las siguientes características generales.

- La posibilidad de hacer cálculos algebraicos con la información de cada unidad. Esto permite al usuario probar indices compuestos de variables y analizar su comportamiento.

- Capacidad de trabajar el algebra booleana con sus unidades, esto permite la clasificación de regiones, de acuerdo a las características especificadas por variables o índices. Esto permite la clasificación del país en regiones con una problemática homogénea y trata a estas regiones como les corresponda.

- Facilidades de ejecutar estadísticas descriptivas y análisis multivariado.

- Facilidades de obtener reportes de información virgen o procesada con diferentes formatos (gráficas, tablas, mapas, etc.).

- El sistema trabaja en forma interactiva y se puede usar a través de teletipo o terminales de tipo similar, por medio de un lenguaje conversacional simple y orientado al usuario, cuyo conocimiento toma pocas horas.

Tales facilidades dan a los sistemas la flexibilidad de trabajar como laboratorios socioeconómicos, donde pueden probarse modelos económicos; evaluarse decisiones, y hacerse análisis estadísticos. Así mismo, la información contenida y manejada por los sistemas y por los indicadores definidos por el usuario, puede ser desplegada en diferentes formas (como un ejemplo, la figura 2, muestra un mapa sombreado con la división política por municipios).

3.1 Sistema de Información GEO-X1[3]

Un primer sistema de manejo de bases de datos se implantó para trabajar en el primero y segundo nivel de información; este sistema, llamado GEO-X1 empezó a operar a principios de 1976, con una base de datos formado de información acerca de algunos tópicos de la mayoría de los países americanos, y una segunda base de datos trabajando a nivel estatal para México.

El GEO-X1 contiene todas las facilidades comunes mencionadas y está complementado con otras características para hacer análisis de entrada y salida y cálculos de matrices generales y vectores. Su definición de datos y sus capacidades de adquisición son muy flexibles, y pueden ser introducidas al sistema por el usuario, tambien de un modo conversacional.

Actualmente, este sistema puede ser considerado como un sistema adaptivo de manejo de bases de datos por dos razones:

Sus unidades no necesitan estar fijas, pueden ser definidas como Secretarías de Estado, Distritos electorales, bienes de consumo, industrias sectoriales, etc.

- El sistema contiene la componente de tiempo y así maneja las series de tiempo de un modo natural.

3.2 Sistema de Información GEOMUNICIPAL[4]

Un segundo sistema de manejo de bases de datos, dedicado al nivel de municipio, empezó a operar durante el verano de 1975 y actualmente esta siendo utilizado en 6 dependencias de gobierno[5]. En el presente está siendo implantado en tres computadoras (Univac-1106, B-6700,

IBM-145). Con la estructura de municipio, tiene una base de datos de más de cinco mil variables, las cuales pueden ser incrementadas con el censo económico y las estadísticas vitales. Este sistema ha sido utilizado con mucho éxito en la realización de algunos estudios interdisciplinarios, a los cuales nos referiremos con mayor detalle después.

3.3 Sistema de Informacion GEO-L1[6]

Diseñado para servir como un instrumento del cuarto nivel de datos, el Sistema GEO-L1 está siendo actualmente implantado como una extensión del Sistema GEOMUNICIPAL. Está formado por varias rutinas orientadas a efectuar análisis de mucho detalle, analisis de grupo, procedimientos cartográficos e interpretaciones directas, dispuesto alrededor de un procesador central de manejo de bases de datos. Está más orientado para dar facilidades de modelo y está apoyado por facilidades de gráficas de naturaleza muy flexible. Siendo una extensión del Geomunicipal, contempla la posibilidad de comunicación automática del cuarto al tercer nivel.

3.4 Sistemas Secundarios

Dentro de la información considerada de interés público, se puede dar una dicotomía. Se puede tener tanto información no numérica, rela-

ciones legales, resumenes bibliográficos de diarios, como información numérica. Aunque un sistema de información completo debe atender a ambas, este documento concierne unicamente a un subconjunto de la segunda; la información geográfica estadística relativa a aspectos socioeconómicos. Sin embargo, para complementarlo y abrir el rango de aplicaciones, se han desarrollado algunos sistemas complementarios y de apoyo. Algunos de llos se comentan brevemente en seguida.

- Un sistema demográfico, con la capacidad de calcular proyecciones de población con algunos niveles de agregación, en base a hipótesis demográficas definidas por el usuario a través del módulo de mando. El sistema tiene su propia base de datos que contiene los censos de población de México en 1960 y 1970[7].

- Un sistema de recuperación de información de tipo bibliográfico, usado principalmente para catalogar los datos almacenados en el otro sistema, pero con una demanda creciente de aplicación que va desde fragmentos de noticias a libros, patentes, y algunos tipos de catálogos [8].

Es importante mencionar, la naturaleza interinstitucional del proyecto, ya que el desarrollo de la mayor parte de la técnica ha sido llevado a

cabo con el esfuerzo combinado de las Secretarías de Educación, Comercio y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, mientras que otras dependencias gubernamentales han estado usando los sistemas y - alimentandolos de datos.

Los planes y objetivos actuales, pretendèn que los sistemas puedan ser accesados por todas las dependencias federales y estatales a fines de 1977, ya sea por implantación directa o mediante el uso de telecomunicaciones.

4. ADQUISICION DE DATOS

Más generalmente, el proceso que media entre la recolección de los datos y su publicación es una de las mayores restricciones al estudiar los fenómenos socioeconómicos; así como el análisis basado en datos fuera de tiempo puede producir decisiones erroneas. Es entónces un asunto importante la disponibilidad oportuna de la información, si los modelos de planeación van a reflejar la realidad. Por otro lado, las decisiones apoyadas en la información al día, conduciran al sistema - hacia los objetivos especificados, los cuales en cada etapa serán evaluados y retroalimentados al mismo sistema.

La estrategia seguidá en el proceso de adquisición de datos, puede ser resumida en los siguientes puntos.

- Los núcleos iniciales y principales de los datos vienen del censo de - población de 1970, ya publicado, estos datos fueron dados al nivel - municipio con más de 300 conceptos independientes para cada uno de los 2343 municipios del Departamento de Estadísticas Nacionales[10].

- Los conceptos incluidos en dicha información fueron de interés general y fueron complementados después con datos especiales de interés en el área de salud, salarios y productividad, que producen otras 1000 variables[11].

- La información de agricultura fue dada después por el Departamento de Estadística, revisada y corregida por una institución académica (El Colegio de México), con el acuerdo de que esta institución tendrá acceso al uso de la tecnología desarrollada y los datos previamente adquiridos.

Toda la información antes mencionada se refiere al período 1960-1970. Estos datos aunque son bastante importantes presentan solamente una imagen estática del país. Así, podemos obtener otras fuentes de datos ya sea a nivel de municipio o a niveles más agregados.

- El primer paso en esta dirección fue dado en la Secretaría de Educación Pública donde el trabajo normal de estadística de censar cada año el número de estudiantes, profesores y escuelas a todos los niveles y en todo el país, es conducido en coordinación con el Departamento de Estadística.

- Mientras se estaba llevando a cabo el proceso de recolección de datos de educación organizados a niveles de estados federales, municipios y poblados, se descubrió que el sistema educativo era la unica fuente de datos sociales, ya que los profesores representan la comunicación más intensa y extensa entre el gobierno y la gente, con una imagen limpia y valiosa. Se pidieron a los profesores los datos sobre 750,000 alum-

nos de primaria, que representan el mismo número de familias (existen 8,000,000 en el país), concernientes a la estructura familiar, condiciones de vida, e ingreso y ocupación del padre. El primer experimento se llevó a cabo en 1975 con bastante éxito. El segundo, que fue realizado en 1976 sobre el consumo en alimentos relativo al ingreso de la familia, no tuvo éxito, pero se hicieron nuevos esfuerzos para 1977, incluyendo un cuestionario más detallado.

- Esta experiencia nos ha llevado a buscar en otras instituciones gubernamentales para recolectar perfiles de la población que requiere servicios particulares, hábitos de consumo de productos y energéticos, perfiles y precios en comercio interior, etc., en todos estos casos se escogió el municipio como unidad de recolección de información.

5. ALGUNAS APLICACIONES Y OTRAS POSIBILIDADES

Es claro que todos los esfuerzos antes mencionados no serían utiles si el inventario de información no correspondiera a las demandas del usuario. El intervalo entre el suministro real de la información y la demanda será acortado en -- cuanto que el inventario de datos corresponda a situaciones reales cuyo análisis permita a los investigadores la comprensión de problemas estructurales en la sociedad, esta realización dependerá de la utilización correcta y exhaustiva de la información del sistema.

Aún si los sistemas habían sido utilizados cada vez más, todavía estan subutilizados; en parte por la falta de recursos para promoción, y parte porque la gente se resiste a usar la nueva tecnología. Sin embargo, se han hecho algunas aplicaciones interesantes principalmente con el Geomunicipal, las más interesantes son:

- Un grupo interdisciplinario formado por un físico, un estadísta y varios matemáticos aplicados, usa el sistema para conformar índices de salud que fueron usados para construir regionalizaciones y para analizar las ligas entre la mortalidad y otros índices económicos [12].

- Se estudiaron los ingresos percibidos por los trabajadores de diferentes niveles de educación, para tratar de evaluar desde un punto de vis vista social, la influencia de la educación sobre la economía.

- Un grupo de antropólogos analizaron los movimientos migratorios de los indígenas y los trabajadores en los diferentes municipios [14].

- Con miras a apoyar el proceso de planeación educacional, se hizo un análisis descriptivo de lo que media entre los municipios rurales y los urbanos.

Para llevar a cabo el objetivo principal del sistema: Informar a la gente y ayudar al proceso de decisión; es necesario tener un apoyo administrativo, éste se presenta en la forma de un servicio de información de rápida respuesta a través del cual, cualquier persona tiene acceso al inventario de datos, ya sea de su manera más amplia, en tabulaciones elaboradas o en estadísticas descriptivas.

Actualmente, este acceso se logra a través del uso de una biblioteca en el Departamento de Estadísticas, ahí se puede consultar y copiar algunos datos manualmente. Este proceso es lento, y las publicaciones no comprenden todas las relaciones que se pueden hacer con los datos ni todos los datos que el departamento recolecta. En los casos en que otro gobierno u oficina de investigación necesita

trabajar con grandes volúmenes de información, este departamento prepara una cinta magnética con la información requerida, pero aún así, el tiempo de espera es considerable.

Aparte de este servicio, no es posible tener acceso a la información captada por otras instituciones, a menos que uno tenga contactos personales con el personal directivo. De aquí la necesidad del servicio que proponemos. A simple vista, parecerá muy cara la implantación de tal empeño, pero como estamos trabajando en un esquema descentralizado, se pueden usar varias de la facilidades existentes en computación, y los ahorros en tiempo, papel y salarios, compensarán otros gastos. Además, tenemos que evaluar los beneficios subjetivos de tener informada a la gente de nuestra sociedad.

REFERENCIAS

1. Algunos ejemplos son: 'Commodity Trade Statistics", Statistical Office U.N., Nueva York (publicación anual). 'Demographic Year book' - Statistical Office U.N., Nueva York, (publicación anual). 'International Year book of Education' International Bureau of Education Geneve, and UNESCO, Paris (Publicación anual). 'Production Yearbook' FAO, Roma, (Publicación anual) 'World Forest Product Statistics' FAO Roma (1954-1963).

2. Algunos ejemplos son: 'Statistical Bulletin for Latin America' CEPAL, Washington, D.C. (Agosto 1964-Agosto 1965). 'América en Cifras' Pan-American Union Department of Statistics, Washington, D.C. (Publicación anual).

3. Calderón y otros 'A socioeconomic laboratory for planning agencies' envia al congreso IFIP. Toronto (Agosto 1977).

4. 'Descripción General del Sistema Geomunicipal de Información' Primer seminario de usuarios del Sistema Geomunicipal. Conacyt México, D.F. Octubre 1976.

5. Banco Nacional de Crédito Rural, Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, El Colegio de México, Secretaría de Educación Pública, Secretaría de Comercio, Instituto Nacional de Antropología e Historia y Secretaría de Programación y Presupuesto.

6. Guerrero M.C. y otros 'GEO-L1', Sistema Geográfico' Primer seminario de usuarios del Sistema Geomunicipal México, D.F. (Octubre 1976).

7. De Alva N. y otros 'El método de las componentes en las proyecciones de población: el caso de México' Primer seminario de usuarios del Sistema Geomunicipal (Octubre 1976).

8. Ruiz F. 'Sistema Recuperador de Información' Primer seminario de usuarios del Sistema Geomunicipal (Octubre 1976).

9. Valerio A y otros 'Proyecto de un Sistema Administrador de Bases de Datos'. Primer seminario de usuarios del Sistema Geomunicipal (octubre 1976).

10. "IX Censo General de Población y Vivienda 1970' Dirección General de Estadística S.C. México 1974.

11. Algunas fuentes son: Estadísticas de Servicios Médicos y de Salud. - Dirección General de Estadística (1970). 'Catálogo de Establecimientos 1970-1971' Dirección General de Servicios Coordinados en Salud Pública, Secretaría de Salubridad y Asistencia (1971). 'Anuario Estadístico de Servicios Médicos' Instituto Mexicano del Seguro Social. Anuario Estadístico 1970' Dirección General de Estadística. 'Estadísticas Vitales' Departamento de Estadísticas Demográficas y Sociales contínuas Dirección General de Estadística. 'Anuario Estadístico 1970' Instituto de Seguridad y Servicios para los Trabajadores del Estado.

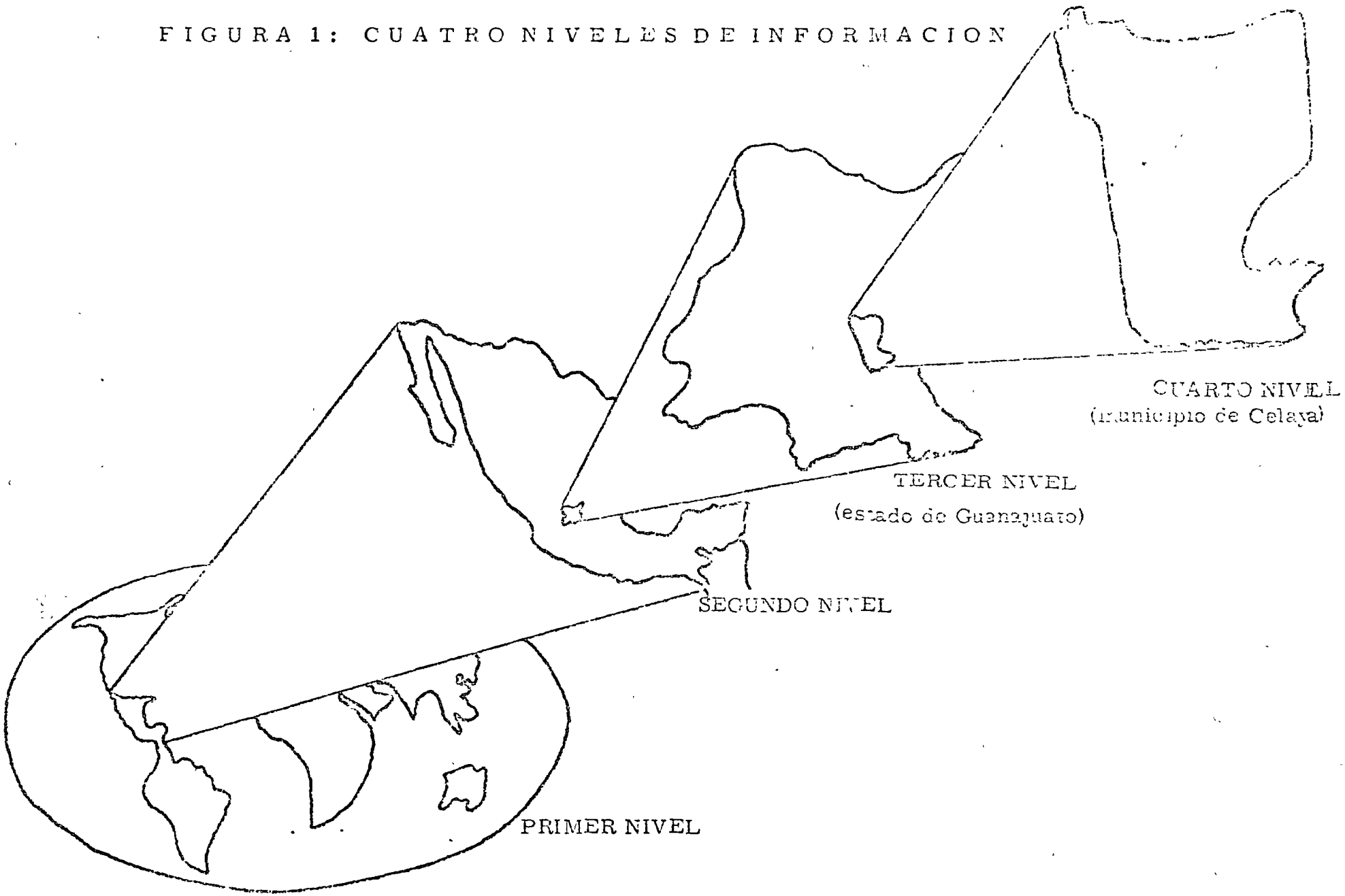
12. Cañedo L. y otros 'Areas Geomédicas Indicadores de las causas socioeconómicas de la mortalidad' Primer seminario de usuarios del Sistema Geomunicipal. México D.F. (Octubre 1976).

13. Martínez E. y otros 'La educación y el ingreso' Primer seminario de usuarios del Sistema Geomunicipal. (Octubre 1976).

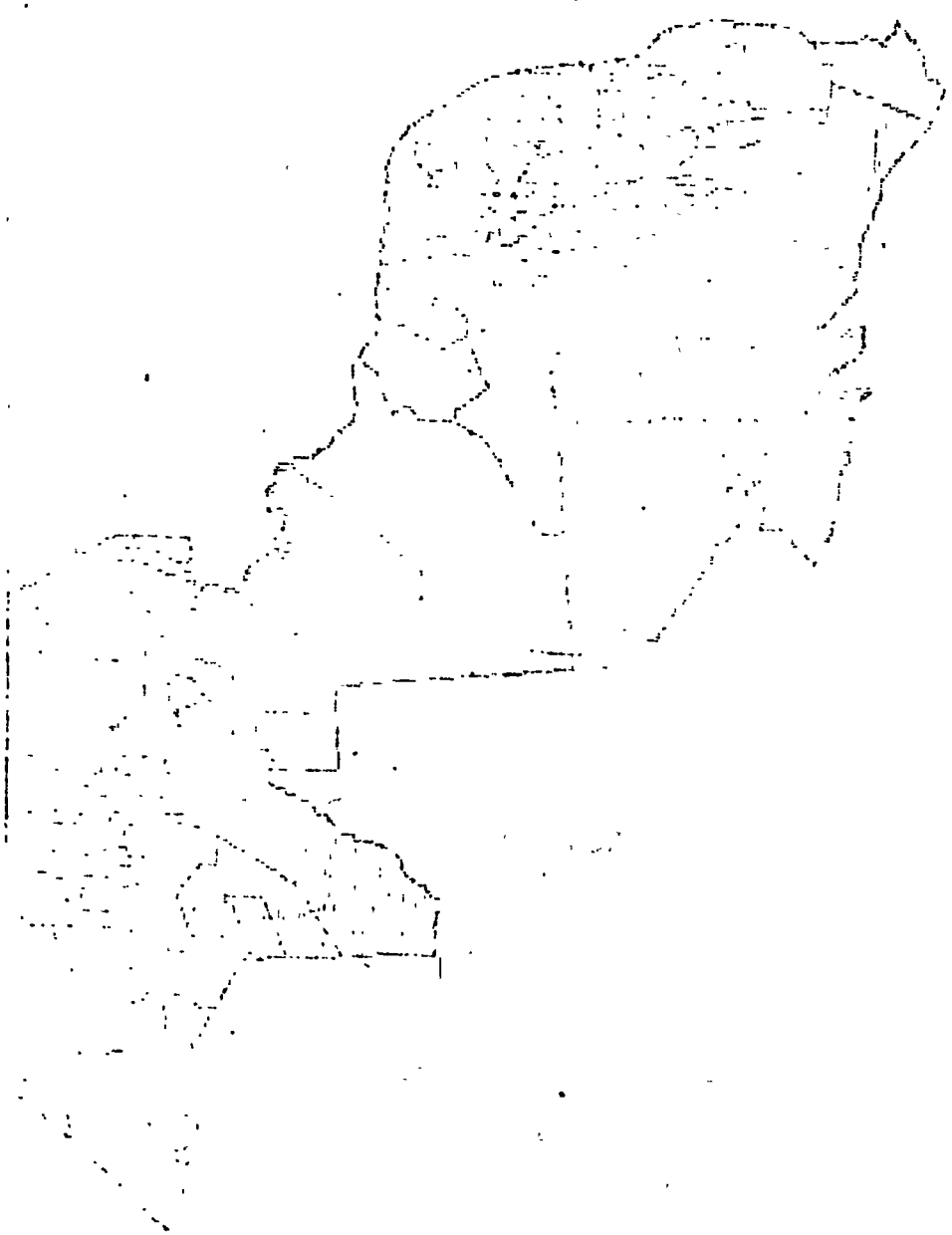
14. Nolasco M. 'La antropología Social de Sociedades Complejas. Estudio de Migraciones de Población Indígena'. Primer seminario de usuarios del Sistema Geomunicipal! (Octubre 1976).

15. Calderón E. 'Cinco Regiones de México' en cinco partes: 1) Demografía; 2) Salud; 3) Vivienda; 4) Economía y 5) Educación. Boletin Informativo de la Dirección General de Plancación Educativa SEP (Méx. D.F. 1975)

FIGURA 1: CUATRO NIVELES DE INFORMACION



F I G U R A 2 : Detalle de un mapa generado por el Sistema Geomunicipal; mostrando la Península de Yucatán.



UN LABORATORIO PARA INFORMACION SOCIO-ECONOMICA

G E O - X 1

RESUMEN

Este documento describe un sistema interactivo de gran flexibilidad para definir y crear estructuras de datos, para introducir otros dentro del sistema, y para manipular tales datos en la forma que sea requerida para el estudio de situaciones sociales y económicas, así como para el desarrollo de programas regionales. Las aplicaciones específicas en las distintas secretarías (del Gobierno Mexicano), de industria, comercio y educación son descritas. El uso del sistema no requiere de especialistas en computación.

1.- INTRODUCCION

Ciertos aspectos de mayor problemática para el Gobierno Mexicano, en las áreas socio-economicas y de servicio, requieren el uso de avanzada planificación tecnológica. El empleo de grandes volúmenes de datos, que abarcan gran variedad de temas, ordenándolos para hallar soluciones íntegras y atractivas en cortos lapsos, es el factor común fundamental para la solución de estos problemas.

Por consiguiente un proyecto de este tipo debe proporcionar un instrumento con las siguientes características:

Una considerable capacidad para organización y manipulación de datos con un número arbitrario de temas, estructurados a través de diversos esquemas.

La habilidad de manejar el concepto 'tiempo' y de elaborar cálculos complejos, tal como sean requeridos en la construcción de modelos de simulación, indicadores sociales y demográficos, así como proyecciones económicas.

La capacidad para proporcionar datos de acuerdo con su disponibilidad, sin restricciones operativas respecto a su integridad.

Facilidades para operaciones interactivas, para darle el uso de una herramienta, tipo laboratorio, a través de las cuales las soluciones son probadas y mejoradas.

En general, el sistema presenta un uso orientado hacia un comportamiento adaptativo.

2.- PRINCIPALES CONCEPTOS Y ESTRUCTURAS DE DATOS.

Un conjunto de datos puede ser considerado por el sistema como un cubo tridimensional, en el cual la primera dimensión es el tiempo, la segunda representa el espacio y la tercera es la dimensión conceptual.

En la fig. 1, uno de estos cubos de información está integrado por datos sobre economía (dimensión conceptual), durante el intervalo de tiempo 1960-1975 (dimensión temporal), para todos los países de América (dimensión conceptual). Un dato considerado así, es el valor de la producción agrícola para Brasil durante el ciclo 1972, y es mostrado en la figura como D1.

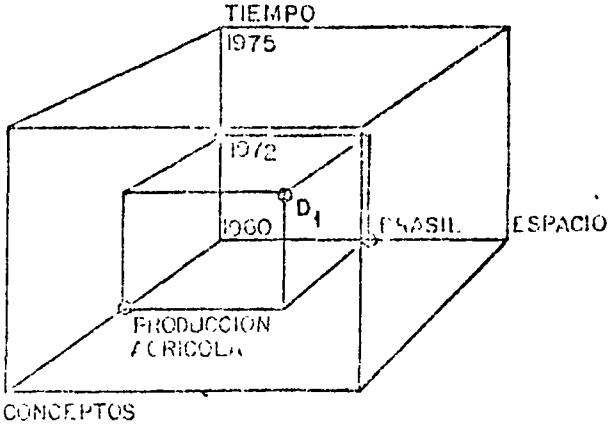


Fig. 1

Para ser más específico, la información de un sector, es una acumulación tridimensional de datos, los cuales integran la dimensión conceptual de la estructura. Una estructura interpretada está formada por tres subestructuras:

La "dimensión temporal de la estructura", es un fragmento de tiempo arbitrariamente definido por el usuario, tal como (1970, 1971,.....) o (enero 75 febrero 75,.....)etc.

La "dimensión espacial de la estructura" es una lista regional de los 'elementos'; arbitrariamente definidos por el usuario, y constituída por entidades, tales como (Argentina, Brasil, Canadá,....., Venezuela).

En algunos casos, los elementos de la dimensión espacial, pueden ser sustituidos por entidades no geográficas tales como: dependencias gubernamentales, productos químicos y otros.

La "dimensión conceptual de la estructura", es un conjunto de

conceptos ordenados arbitrariamente, posiblemente relacionados con algunos otros, representados por un árbol, tal como se muestra en la fig. 2.

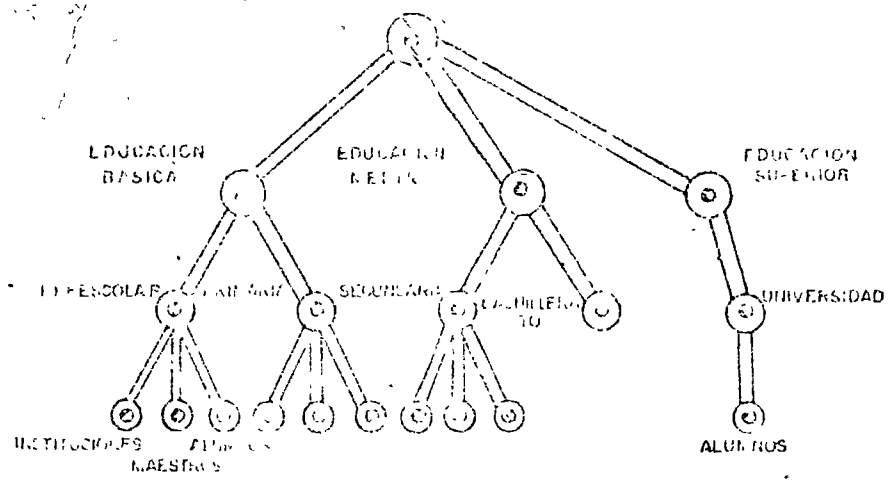


Fig. 2 Conceptos educativos en América

El sector educacional para América, durante el intervalo 1970-1976, - es mostrado en la fig. 3.

Un sector puede ser extendido, sumando nuevos conceptos o nuevos intervalos de tiempo, de aquí, los componentes espaciales deberán quedar fijos, por razones operacionales. .

Es frecuentemente usado tener varios sectores coincidiendo en la estructura espacial. Este es el caso por ejemplo, cuando un sector contiene ciertos temas de estudio para un universo dado.

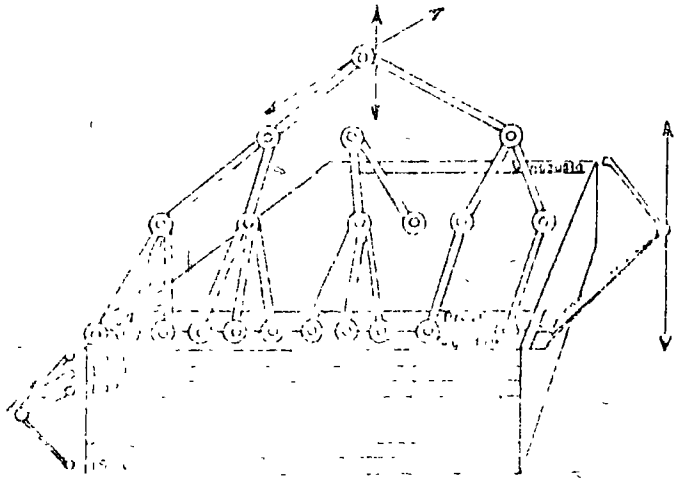
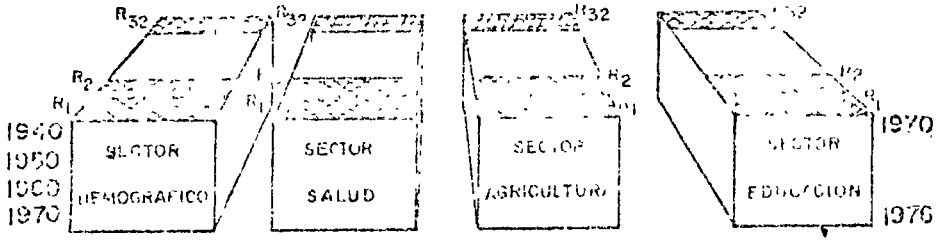


Fig. 3 Cubo de información del sector educativo en América

Un conjunto de sectores, que tienen una misma dimensión espacial, integran un esquema. Diferentes escalas de tiempo pueden ser usadas en un solo esquema, como se muestra en la fig. 4.



R_1 R_2 . .. R_{32} Se refieren a los estados de la República Mexicana: Baja California,.....Zacatecas

Fig. 4

El sistema tiene la capacidad de manipular varios esquemas, formados y utilizados por diferentes usuarios. Esquemas y sectores son almacenados en memoria secundaria, en la forma de un árbol de datos similar al que se muestra en la fig. 5.

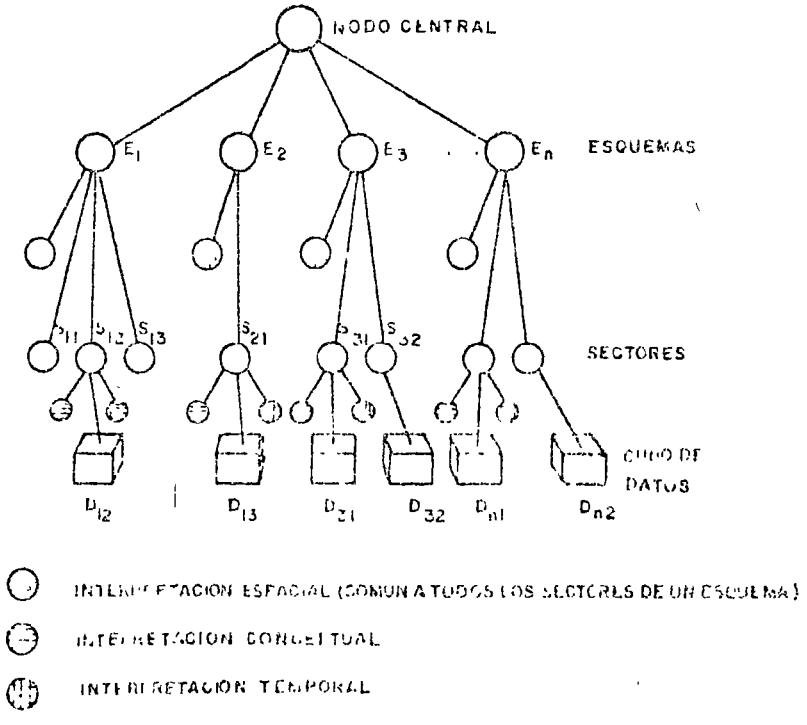


Fig. 5

3.- CONJUNTO DE INSTRUCCIONES Y COMANDOS DEL LENGUAJE

Varios de los comandos contenidos en el sistema, se encuentran agrupados en tres áreas, de acuerdo con sus respectivos objetivos:

(1) Diseño y definición de la estructura
(2) Adquisición de corrección de datos
(3) Cálculos iterativos, generación de reportes y gráficas.

FACILIDADES PARA DISEÑAR UNA ESTRUCTURA.

Permite al usuario diseñar la estructura de un sector, o grupo de sectores dentro de un esquema, o hacer correcciones y adiciones a las estructuras ya existentes. Nuevos esquemas y sectores pueden ser agregados en cualquier momento. Las operaciones son elaboradas en forma interactiva, de acuerdo con las instrucciones dadas por el usuario, el lenguaje que usa el sistema va orientando al mismo.

Las facilidades para la recuperación de datos, son usadas para alimentar datos dentro de un cubo de sectores ya definido, así como para cualquier corrección necesaria. Diferentes métodos son posibles para la alimentación de datos: digitando directamente por una terminal, o automáticamente desde archivos en cintas, producidas por otros sistemas, o de otros archivos creados por el sistema GEO-X1. En particular la transcripción de datos de un cubo a otro en la misma estructura ha demostrado ser muy útil.

Así, en el caso citado, las facilidades de adquisición pueden ser invocadas y controladas al mismo tiempo, desde una terminal interactiva, usando un comando especial del lenguaje.

Facilidades para cálculos interactivos, un segundo módulo es usado para proporcionar servicios para el tercer tipo de facilidades encaminadas al uso y explotación de todos los datos existentes. Estas facilidades serán empleadas primero para localizar esquemas, sectores, planos de la matriz dentro de esos sectores (cubo de datos), vectores específicos en esos planos y datos individuales; después todas estas estructuras podrán ser listadas en una terminal, o sacadas a través de listados; o pueden ser combinadas mediante cálculos aritméticos o lógicos, para la construcción de nuevos elementos que podrán ser sacados en impresión o desplegados por la pantalla.

4.- ESTRUCTURA DE DATOS EN MEMORIA CENTRAL.

Con el fin de efectuar los diferentes tipos de operaciones, las estructuras de datos, formadas por cubos y esquemas, son permanentemente almacenados en dos archivos de acceso directo.

El primer archivo contiene los datos, mientras en el segundo se almacena el control de datos y la información topológica, usada para dar el significado y la descripcion de la organización interna del archivo correspondiente en los cubos y esquemas.

Con la finalidad de operar cualquier parte de los datos almacenados en los archivos, el sistema tiene una estructura en memoria central, formada por siete planos, como se muestra en la fig. 7. Los cinco planos superiores son usados para almacenar toda la interpretación de la estructura y diccionarios requeridos para localizar los datos, mientras que los tres planos inferiores integran 'una unidad aritmética generalizada', donde una porción del cubo de datos es traida y procesada, de acuerdo con las instrucciones dadas por el usuario.

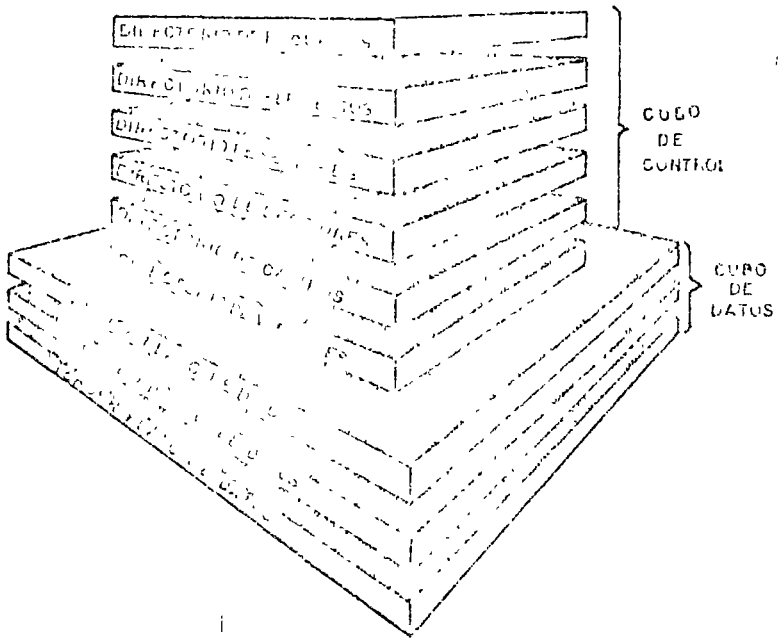


Fig. 7

5.- APLICACIONES

PLANEACION Y EVALUACION DE CORPORACIONES

Con la finalidad de ilustrar el uso del sistema, vamos a considerar una cadena de hoteles integrada por varias instalaciones distribuidas en diversas partes del país, que requieren el establecimiento de una planificación y monitoreo en los aspectos de desarrollo, costos y financieros. Para tales fines, el gerente de la corporación utiliza datos proporcionados por cada hotel mensualmente.

Un esquema con todos los nombres y localizaciones de todos los hoteles, constituyen la dimensión espacial. Cuatro cubos de sectores son asociados al esquema: el de invervisones, recursos existentes, gastos e ingresos.

El sector de inversiones contiene información acerca del año en el cual el hotel fue establecido, los costos del terreno, construcción e instalación, los costos de apertura y otros más. La recopilación de estos datos se hace una sola vez. El sector de recursos es cargado en los datos con nuevas características cada año, y contiene información sobre el número de cuartos, restaurantes, lugares de esparcimiento, tiendas y servicios, así como datos del personal. El sector de costos, con una sección de tiempo adicionada cada mes, reporta el monto de los gastos hechos por conceptos varios y clasificados en términos apropiados. Finalmente, el sector ingresos, es usado para reportar el ingreso total recibido cada mes de los diferentes tipos de servicios y ventas.

El uso de todos estos datos en la elaboración de diferentes reportes para los miembros del staff y ejecutivos, es virtualmente ilimitado, y rutinas de diagnóstico y predicción son facilmente efectuadas a -- traves de terminales interactivas.

Comparando con técnicas tradicionales, el sistema representa una ganancia substancial en el tiempo de respuesta, programando esfuerzos y resultados fácilmente.

ANALISIS DE INSUMO PRODUCTO

El uso del sistema en el análisis de producción e industrias, nos da otro tipo de aplicación, donde las facilidades interactivas y la estructura adaptable del sistema, representa una de las mayores ventajas.

Suponiendo la existencia de las corrientes de insumo producto, requeridas para la construcción de la matriz de Leontief, mostrada -

en la fig. 8, para la economía de un país dado.

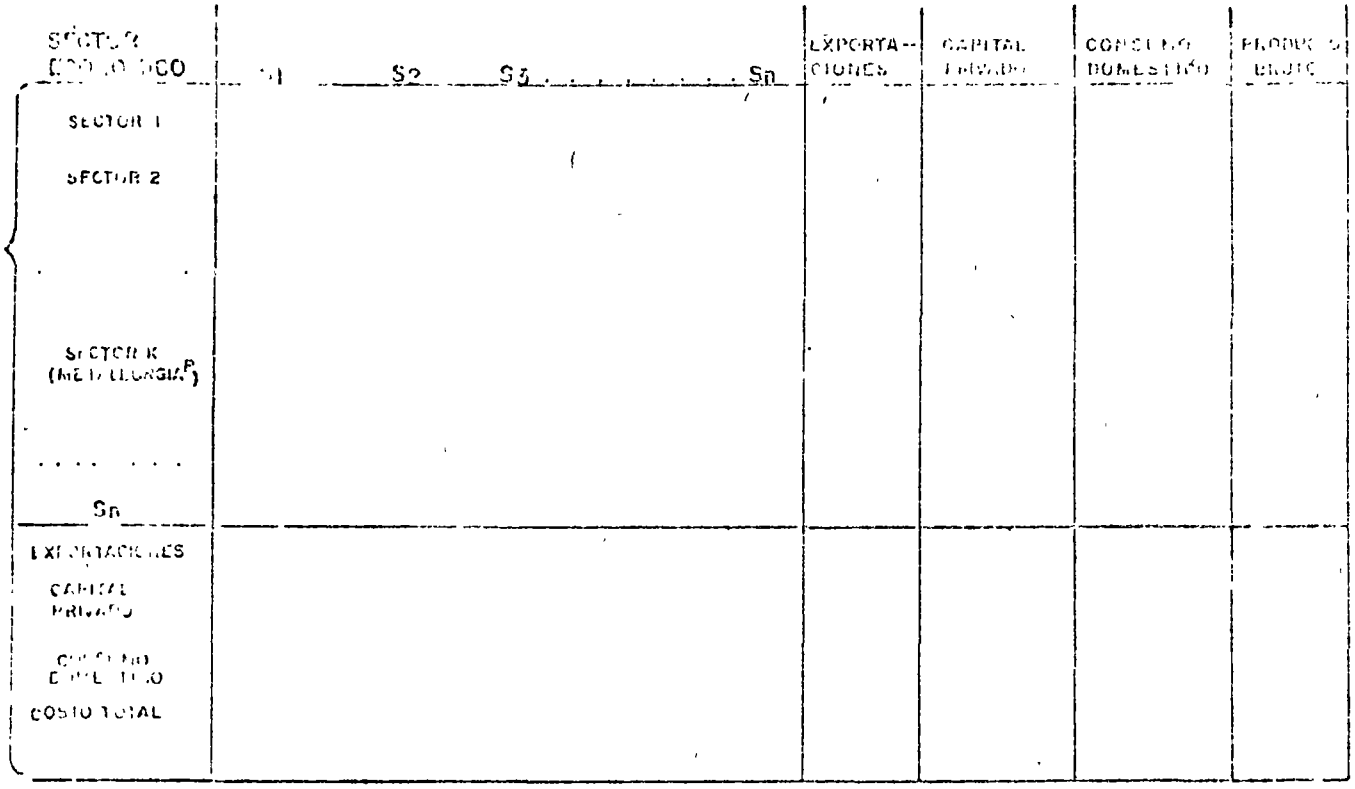


Fig. 8 Matriz de Leontief, considerando la economía dividida en 'n' sectores.

NOTA: Los renglones en esta matriz representan la salida de un sector dado, que esté en uso por otros sectores (columnas) o para satisfacer las demandas en las formas de exportación, consumo interno o inversión.

Las siguientes definiciones permiten hacer uso del sistema para almacenar y manipular los datos requeridos.

ESQUEMA:	LEONTIEF
ELEMENTOS:	Sector - 1 (Agricultura) Sector - 2 (Manufactura) . . . . . Sector - n Importaciones Valor - agregado Insumo total

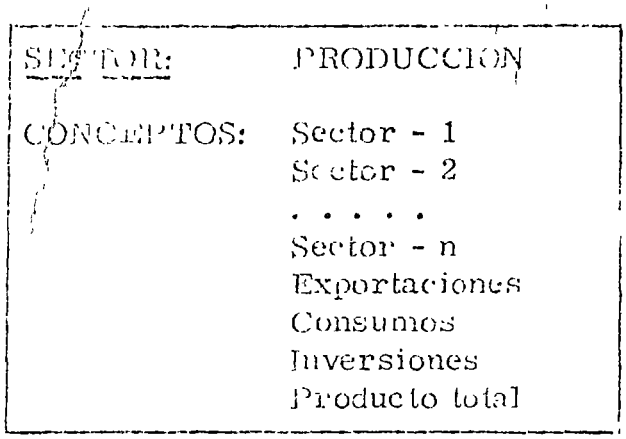


Fig. 9 Definiciones requeridas para el uso de la matriz de Leontief.

El empleo de términos económicos: sector - 1, sector - 2,....., para designar agricultura, manufactura, transportes y otros más, no será confundida con el concepto del sistema respecto al sector subrayado en la fig. 9.

Es importante notar el uso de conceptos no espaciales, a lo largo del - 'eje espacial' en este ejemplo, donde sectores económicos son usados en lugar de regiones geográficas; esta posibilidad no requiere por el - sistema un costo extra, ésto es sumamente útil en varios casos.

Una situación similar es producida, cuando el 'eje tiempo' es usado para definir una secuencia no temporal, como se muestra en la fig. 10, donde el 'eje tiempo' contiene referencias a nombres para algunos - - paises de América.

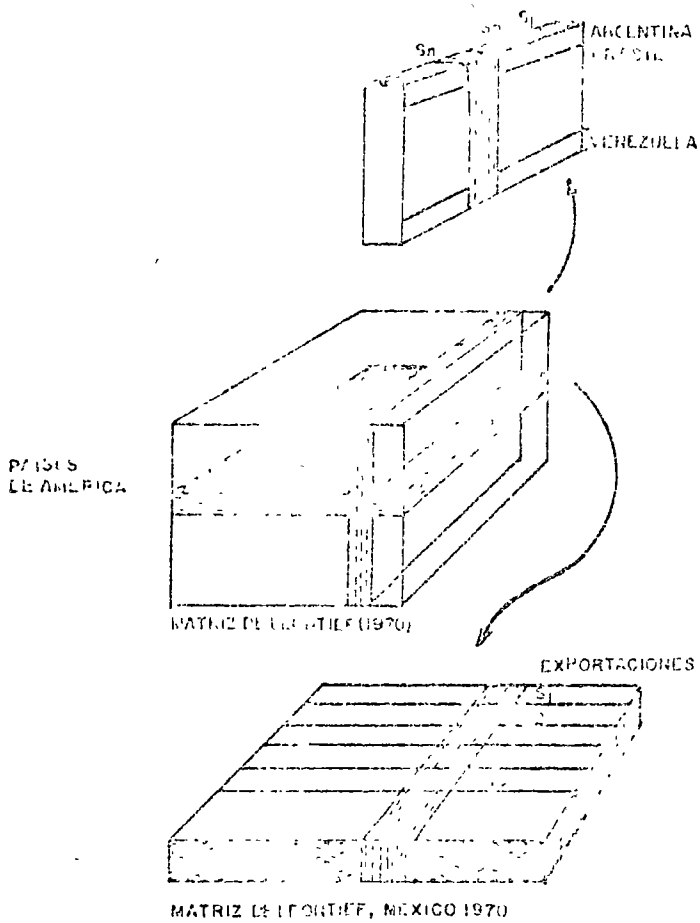


Fig. 10 Matriz de Leontief para el año 1970.

Aun cuando el tipo de cálculos que requiere el análisis de insumo producto, están cubiertos por la aritmética matricial inherente al sistema, es importante recalcar las ventajas de las facilidades interactivas a través de las cuales el usuario obtiene respuestas instantáneas a todo tipo de preguntas y pruebas de laboratorio.

Un ejemplo que involucra los cálculos de exportaciones y composiciones de uso interno, para los diferentes bienes producidos, se muestra en los siguientes párrafos.

UTILIZACION DEL LENGUAJE DE CONSULTA

Por la imposibilidad de presentar una descripción detallada para el lenguaje de consulta (que no entra en esta discusión), un ejemplo fue mostrado, donde una secuencia de instrucciones es dada para dirigir los cálculos de exportaciones y composiciones de uso interno para los principales sectores de la economía, tales elementos son calculados como porcentajes del Producto Total en los sectores correspondientes.

```
1.  MODO DE CONSULTA
2.  ESQUEMA:  Leontief
3.  SECTOR:   Producción
4.  Define vector   V1 = exportaciones
5.                  V2 = consumos
6.                  V3 = inversiones
7.                  V4 = Producto total
8.  Calcula vector  V5 = V2 + V3
9.                  V6 = V1 * 100/V4
10.                 V7 = V5 * 100/V4
11.  Imprime V4, V6, V7  clasificados por V6.
```

El efecto producido por cada instrucción es descrito a continuación:

La línea 3 completa las especificaciones de datos requeridos por el sector una vez que el sistema ha sido puesto en modo de consulta en la línea 1.

Las líneas 4, 5, 6 y 7 definen las columnas de vectores de la matriz, que serán usadas en los siguientes cálculos (la estructura de esas columnas aparece en la fig. 8).

La línea 8 le indica al sistema el cálculo del vector columna V5, como el vector de la suma de V2 y V3 (consumos internos e inversiones empleadas en cada sector de la economía).

Línea 9 y 10 indican el cálculo de porcentaje de los vectores de exportación y de uso interno; y finalmente,

La línea 11 produce un reporte, donde los vectores columnas V4, V6 y V7, aparecen clasificados del menor al mayor porcentaje de exportación. Cada terceta, del producto total, porcentaje de exportación y porcentaje de uso interno, aparece después del nombre del concepto (sectores económicos, en este ejemplo).

CONCLUSIONES

Existe un aumento de interés por el sistema, en varias ramas del Gobierno Federal, así como en algunas corporaciones privadas, ha cristalizado en varias aplicaciones en las áreas de Planeación Educativa, Demografía, Control de Presupuesto y Desarrollo Regional, también en gerencias de hoteles y modelos económicos.

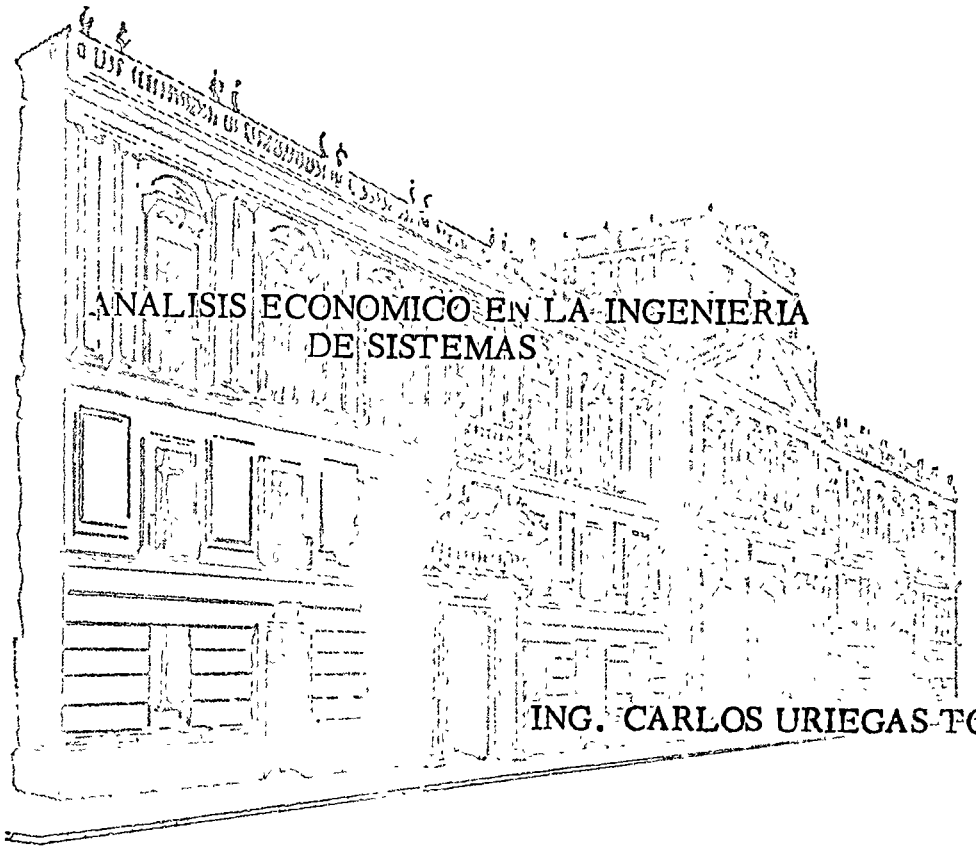
Es uno de los instrumentos computacionales para el Sistema Nacional de Información, GEO-X, da servicio a varias bases de datos, incluyendo estadísticas de los países de América, tráfico internacional, Demografía Regional, Estadísticas Económicas y Recursos Gubernamentales.

Recientemente, varios gobiernos latino-americanos, han visto este sistema como una herramienta general para su propia planeación.

Todo ésto ha sido un importante incentivo para continuar con el desarrollo del sistema, el cual no se puede considerar como un proyecto concluido, es sólo el primer paso en la generación de una familia de procesadores poderosos.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS



ANALISIS ECONOMICO EN LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ING. CARLOS URIEGAS TORRES

Junio-Septiembre, 1977.

ANALISIS ECONOMICO EN LA INGENIERIA DE SISTEMAS

SISTEMAS PRODUCTIVOS

Desde el punto de vista del Análisis Económico de Proyectos, interesan especialmente los sistemas que desarrollan un proceso de producción de bienes o servicios, o que realizan una parte de dicho proceso.

La representación elemental de un sistema de esta clase se muestra en la figura F. 2.10. Los elementos componentes del sistema (R(t), serán todos aquellos recursos (hombres, máquinas, dinero, información, etc.) que sea necesario acumular y organizar para alcanzar los objetivos propuestos.

Todo aquello que no forma parte del sistema, pero que influye sobre él, constituye su"ambiente". Para realizar sus objetivos, el sistema toma del ambiente los recursos necesarios, r(t), que constituyen, como ya se dijo, las entradas o insumos del sistema. Este último lleva a cabo un proceso o conjunto de procesos sobre los insumos, a fin de transformar éstos en bienes o servicios útiles, que son las salidas o productos, p(t), del sistema, a través de los cuales el sistema trata de realizar sus objetivos.

Los recursos insumidos por un sistema pueden ser de tres clases:

a) Insumos de integración. Un sistema empieza con una simple idea o proyecto; ésta se convierte en realidad mediante el proceso de construcción o instalación del sistema. Los elementos que se van acumulando para integrar el sistema se denominan insumos de integración.

   La corriente de estos insumos tiene lugar durante el proceso de construcción, pero no cesa al terminar ésta, ya que casi siempre le siguen los procesos de mantenimiento, ajustes, modificaciones y/o ampliaciones, en forma más o menos continua. Los desmantelamientos implican una corriente inversa de recursos de integración (del sistema hacia el ambiente).

b) Insumos de proceso. Son los insumos primarios o materias primas que, transformados por el sistema, se convierten en productos terminados. Los insumos de proceso no siempre son materiales; pueden consistir en energía, que se transforma en otro tipo o nivel de energía; o en información, que se procesa para producir información más útil.

c) Insumos de operación. Son los materiales, energía, información o servicios que se consumen internamente en el sistema para poder llevar a cabo los procesos que éste requiere. Especialmente importante es la energía humana (mano de obra) que consume el sistema. Pertenecen también a esta clase de insumos: combustibles, energía eléctrica, agua, comunicaciones e información.

Los sistemas productivos tienen un carácter eminentemente dinámico. Las entradas y salidas y los elementos componentes del sistema son funciones del tiempo, según se indica en la figura F.2.10. Los insumos de integración son muy variables, según se hizo notar; los insumos de proceso y de operación varían de acuerdo con el volumen de producción; y los recursos acumulados, R(t), que constituyen el sistema varían de acuerdo con el flujo de recursos de integración que entran o salen del sistema. El flujo de productos, p(t), también es variable; una parte de él puede integrarse al sistema R(t), el cual puede así crear parte de su propio potencial; por ejemplo el sistema puede ampliarse usando sus propios elementos, o bien los productos del mismo pueden almacenarse para aumentar las existencias a la mano. Como resultado de la experiencia y evolución del sistema, los objetivos de éste también sufren cambios, por lo que deben considerarse como funciones del tiempo, O(t).

MODELOS DE SISTEMAS

Los atributos (o características) de los elementos que componen un sistema son muy numerosos y variados. Una máquina podría describirse en función de su potencia, peso, velocidad, precio de adquisición, ubicación y otras muchas características; mientras que, entre los atributos de un empleado o trabajador de una empresa pudieran considerarse: edad, estudios realizados, experiencia, sueldo, puesto que desempeña, etc.

El gran número de atributos de los elementos componentes de un sistema da origen a una infinidad de relaciones entre dichos atributos.- Así por ejemplo, el precio de adquisición de una máquina está relacionado con su potencia; el nivel de estudios de una persona guarda relación con su sueldo y con el puesto que desempeña; la complejidad de una máquina exige determinada preparación del operador; y así sucesivamente. El tipo de análisis por efectuar determina los atributos y las relaciones entre éstos que es pertinente tomar en cuenta.

Por lo tanto, cabe el análisis de un sistema desde diferentes puntos de vista que interesan al ingeniero o al ejecutivo. Se puede así hablar, respecto a un sistema dado, de análisis o diseño estructural, hidráulico termodinámico, geométrico, organizacional, de dinámica de grupos, etc.

Al analizar el comportamiento de un sistema desde un punto de vista determinado, se empieza por formular hipótesis que expliquen dicho comportamiento. Estas hipótesis, desarrolladas y formalizadas constituyen "modelos" del sistema.

La representación o descripción del comportamiento de un sistema, desde un punto de vista determinado, en términos físicos, verbales

y muchos otros.

Los modelos son abstracciones, simplificaciones o idealizaciones de los sistemas respectivos; son útiles en tanto que sirven para predecir con exactitud aceptable los fenómenos del mundo real; de ellos no puede decirse que sean verdaderos ni falsos, ya que su utilidad se juzga por su contribución al entendimiento de los sistemas que describen. Los modelos matemáticos (algoritmos, ecuaciones, tablas, programas de computadora) son especialmente útiles para estudiar las variaciones cuantitativas de los atributos de un sistema y de sus componentes; los modelos gráficos ayudan a la comprensión de los fenómenos y a menudo complementan a los modelos matemáticos.

Entre los muchos modelos de un sistema que pueden ser objeto de estudio, interesa especialmente el modelo económico, es decir, la representación del sistema desde el punto de vista económico.

MODELO ECONOMICO DE UN SISTEMA

El Análisis Económico de Proyectos no es otra cosa que el estudio del modelo económico de un sistema o, dicho de otro modo, el estudio del comportamiento de un sistema desde el punto de vista económico. Por tanto, es necesario identificar con claridad los elementos componentes de dicho modelo.

La representación elemental del modelo económico de un sistema (fig.F.2.14) se obtiene traduciendo a términos económicos elementos del modelo conceptual de la figura F.2.10.

Al flujo de recursos, r(t) que el sistema toma del ambiente, corresponde al flujo de costos, c(t), de sentido inverso, que el sistema debe pagar por ellos.

A la corriente de productos, p(t), que el sistema entrega al ambiente, corresponde un flujo, v(t), de valores o beneficios que recibe el sistema. El flujo v(t) no siempre es determinable, en especial cuando el sistema entrega sus productos a otros que integran un sistema de orden superior.

Considérese, por ejemplo, un equipo de proceso que es parte de una planta; en este caso, el flujo v(t) podría determinarse para la planta completa, pero no para cada uno de los equipos de proceso —

que la forman. Cuando la corriente v(t) de un sistema es determinable, se dice que dicho sistema es económicamente autónomo. La empresa es un ejemplo típico.

El flujo de costos y el de valores, considerados en conjunto y expresados en dinero (cuando ésto es posible), reciben el nombre de flujo de efectivo. Este se toma como negativo para los costos y positivo para los valores, reflejando así lo que el sistema recibe.

Los recursos, R(t), que componen el sistema, resultan de la acumulación de los insumos de integración durante el período de construcción o instalación del mismo. A dichos recursos R (t) corresponde la inversión , I(t), resultante de la acumulación del flujo de costos, c(t), durante ese periodo, los cuales se denominan, en consecuencia, costos de inversión . Cuando el sistema se adquiere completo (como en el caso de una máquina), la inversión consiste en el costo de adquisición.

Los costos en que incurre el sistema ya instalado o adquirido, durante su vida útil, con objeto de realizar el proceso de producción, se denominan costos de operación e incluyen los necesarios para el mantenimiento del sistema.

Nótese que la inversión I(t) tiene un valor potencial susceptible de materializarse en el flujo de valores v(t) mediante la operación del sistema.

El resumen del FLUJO EFECTIVO de un sistema comprende:

a) los costos de inversión,
b) los costos de operación y
c) los ingresos por venta de los productos del sistema, cuando son determinables.

EL FLUJO DE EFECTIVO es la imagen económico de un sistema; es lo que determina si el sistema es o no económicamente deseable.

La retroalimentación en el modelo económico equivale al control económico del sistema, consistente en la determinación de costos y beneficios y de las relaciones entre ambos; la comparación de las cifras obtenidas con las previamente estimadas; y la toma de decisiones tendientes a alcanzar los objetivos económicos del sistema .

El ambiente en el modelo económico comprende, en primer lugar, las necesidades de los clientes potenciales del sistema, posibles consumidores de sus productos; en segundo término, las expectativas económicas del propietario del sistema, en cuanto al --

##

balance entre costos y beneficios derivados de éste; y en un entorno más amplio, las condiciones económicas generales de la localidad, la región y el país, incluyendo características del mercado, productividad de la mano de obra, estado de avance de la tecnología nacional, cambios tecnológicos que se prevén en los procesos de producción, estabilidad de los precios o inflación, ambiente de competencia, situación de los créditos y muchas otras. El ambiente económico comprende también las restricciones y regulaciones impuestas por el Gobierno, particularmente las leyes laborales y fiscales; las del comercio, incluyendo las restricciones y concesiones arancelarias; y las leyes bancarias y crediticias.

ANALISIS ECONOMICO DE PROYECTOS

Ya se explicó el significado y los componentes del modelo económico de un sistema, y se identificó el Análisis Económico de Proyectos con el análisis de dicho modelo.

Más concretamente, se puede dar la siguiente definición:

El Análisis Económico de Proyectos consiste en el análisis de los flujos de efectivo asociados a dos o más sistemas alternativos, con objeto de juzgar la valía económica relativa de los mismos.

Sobre esta definición conviene hacer las siguientes reflexiones:

Todo análisis económico debe empezar por el planteamiento de alternativas: 1) aceptables desde el punto de vista técnico, 2) relevante y 3) suficientes.

Si se plantean alternativas que no son técnicamente comparables, o que son inadecuadas para resolver el problema, o imposibles de realizar; o si no se plantean todas las alternativas pertinentes, el análisis económico carecerá de utilidad.

La comparación de sistemas alternativos incluye la de cursos de acción alternativos; por ejemplo, la decisión entre comprar o rentar una máquina equivale a la comparación del sistema "máquina comprada" con el sistema "máquina rentada".

Considerar la alternativa cero equivale a preguntar: ¿es la mejor alternativa de inversión suficientemente buena? Por lo tanto, siempre debe considerarse en el análisis económico la "alternativa cero", a menos que sea forzosa la inversión.

Cuando los parámetros técnicos de un sistema son variables —

continuas, que pueden tomar cualquier valor dentro de cierto intervalo, la selección de los parámetros más convenientes desde el punto de vista económico, o sea la optimización económica del sistema, plantea una infinidad de alternativas. Por ejemplo, de todas las secciones posibles de una trabe de concreto reforzado se puede determinar la sección más económica (óptima); o bien, de todos los posibles periodos de servicio de una máquina, se puede determinar su "vida económica" o vida óptima. En el primer caso, los parámetros de la sección (ancho y peralte) pueden tomar cualquier valor dentro de límites prácticos; en el segundo, la vida o periodo de servicio también puede tomar un valor cualquiera dentro de ciertos límites técnicos.

Para ello es necesario traducir a términos monetarios todas las entradas y salidas de cada sistema alternativo.

La distribución del flujo de egresos (costos) a lo largo del tiempo es, por lo general, diferente de la de los ingresos (valores); el primero se adelanta normalmente al segundo, ya que es necesario incurrir en los costos de inversión antes de poder obtener ingresos mediante la operación del sistema. La determinación del flujo de efectivo será motivo de estudio en una Unidad posterior.

Opcionalmente, en vez de analizar el flujo de efectivo de cada alternativa, se puede analizar las diferencias de flujos de efectivo entre pares de alternativas para seleccionar, finalmente, la de mayor valía económica.

La diferencia entre dos flujos de efectivo se denomina flujo incremental.

Desde el punto de vista del análisis económico sólo son relevantes las diferencias de flujos de efectivo entre las alternativas.

Los ingresos o egresos que son iguales para todas las alternativas, tanto por su monto como por el tiempo en que ocurren, pueden omitirse en el análisis. Así por ejemplo, dos procesos alternativos para elaborar el mismo producto y que, por consiguiente, tienen igual flujo de egresos, pueden compararse considerando únicamente los flujos de egresos (costos).

Por último, la evaluación económica de proyectos, basada en la comparación de flujos de efectivo, presupone el establecimiento de uno o más criterios de decisión, que permitan elegir de entre dos o más flujos de efectivo el "mejor", o sea el de mayor valía.

Los criterios de decisión son, por lo tanto, medidas de valor desde el punto de vista del propietario del sistema. Este curso está

dedicado en gran parte a exponer diversos modelos de decisión económica aplicables a situaciones prácticas.

En síntesis, el Análisis Económico de Proyectos debe comprender tres etapas:

El planteamiento de alternativas relevantes y suficientes, incluyendo la "alternativa cero" en caso de ser ésta aceptable.

La determinación del flujo de efectivo de cada alternativa, limitándola a los elementos de dicho flujo que no sean comunes a todas las alternativas consideradas. Opcionalmente se pueden determinar los flujos incrementales entre pares de alternativas.

La aplicación de un criterio o modelo de decisión que permita determinar la conveniencia de un flujo de efectivo y elegir la mejor alternativa.

INTEGRACION DEL FLUJO DE EFECTIVO

El flujo de efectivo de un sistema cualquiera está integrado por la serie de ingresos y egresos derivados del mismo, distribuidos a lo largo del tiempo.

Ahora bien, el flujo de efectivo es cambiante y no sigue, por lo general, una ley de variación expresable en términos matemáticos; por tanto, para describirlo es necesario dividir la vida del sistema, desde su concepción hasa su fin, en periodos económicos, y especificar cual es el ingreso total y/o el egreso total en cada uno de dichos periodos. Estos se toman usualmente de un año, haciéndolos coincidir con los períodos contables; sin embargo, cuando el flujo de efectivo sufre cambios importantes en lapsos cortos, puede ser necesario considerar periodos económicos menores de un año: semestrales, trimestrales o mensuales. Tal puede ser el caso durante la fase de construcción del sistema, en que se tienen fuertes costos de inversión variables de un mes a otro, de conformidad con el programa de construcción.

Cuando se describe un flujo de efectivo, el tiempo t = 0 corresponde generalmente al momento en que se toma la decisión de llevar a cabo el proyecto que se analiza, y se comprometen los fondos respectivos. Sin embargo, se puede tomar como tiempo cero la fecha en que se inicia el flujo de efectivo o cualquier otra fecha de referencia que se considere conveniente, de tal manera que no resulten valores de t negativos. El máximo valor de t que se considere, corresponde al horizonte económico del análisis, y es función de la vida del proyecto que se analiza.

El flujo de efectivo puede describirse como un flujo discreto o

continuo. Un flujo de efectivo discreto está formado por una sucesión de ingresos y/o egresos, cada uno de los cuales - tiene una magnitud definida y se realiza en un instante determinado. Un flujo de efectivo continuo consiste en una --- corriente de ingresos y/o egresos que fluje sin interrupción, ya sea en forma constante o variable y que se expresa en - pesos/unidad de tiempo (p e $/año o $/mes). En la realidad, todos los ingresos o egresos se realizan en forma discreta; - por consiguiente, el flujo continuo es sólo un modelo o idealización conveniente para representar una serie de ingresos o egresos frecuentes y de magnitud relativamente pequeña.

Muchos gastos que se realizan en forma diaria, semanal o mensual pueden representarse con bastante fidelidad mediante el modelo de flujo de efectivo continuo. Por otra parte, los costos o ingresos aislados, o relativamente poco frecuentes, y de magnitud considerable, pueden describirse mejor en forma discreta o individual.

En el análisis económico de un proyecto de ingeniería es indispensable tomar en cuenta todos los componentes del flujo de — efectivo asociado al mismo. Para ello conviene proceder en - forma ordenada y sistemática, determinando para cada periodo los ingresos y/o egresos correspondientes a las siguientes etapas:

a) Ingeniería
b) Construcción
c) Operación
d) Desmantelamiento

Por supuesto, no en todos los proyectos es necesario considerar las cuatro etapas mencionadas, pero conviene tenerlas presentes para estar seguro de no incurrir en omisiones inaceptables.- A continuación se describen brevemente los principales componentes del flujo de efectivo en dichas etapas.

COSTOS DE INGENIERIA

Se denominan costos de ingeniería aquellos en que se incurre para realizar los estudios y el proyecto completo de una obra; corresponden principalmente a los siguientes trabajos:

a) Estudios de factibilidad técnica y económica, incluyendo los de tecnología aplicables, mercados, ubicación de las instalaciones, rentabilidad de la inversión y financiamiento.

b) Estudios relativos al sitio de la obra: topógrafos, geológicos, de mecánica de suelos, hidrológicos, de transportes, y otros que sean necesarios para desarrollar el proyecto detallado de las obras e instalaciones.

c) Ingeniería básica, la cual define las características más importantes del proyecto; por ejemplo, en una presa, el nivel máximo de embalse, la capacidad del vaso, el tipo y características de la cortina, la ubicación y capacidad del vertedor de demasías, etc; tratándose de una planta industrial, el tamaño y características de operación del equipo de proceso y del auxiliar, los requisitos de los servicios de agua, energía eléctrica, vapor y otros, la distribución general de la planta, el proyecto general de los edficios, etc.

d) Ingeniería detallada, que comprende el cálculo, dimensionamiento y especificación de cada uno de los elementos integrantes de la obra, elaboración de planos constructivos y especificaciones técnicas de construcción, formulación de listas de materiales y de cantidades de obra y, en general, elaboración de todos los documentos técnicos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

e) Servicios técnicos para adquisición de equipo y materiales, incluyendo elaboración de solicitudes de cotización, selección de proveedores calificados, evaluación de las propuestas, colocación de pedidos y expeditación de los mismos.

f) Ingeniería de campo, comprendiendo asesoría técnica durante la construcción, inspección y control de calidad, elaboración de planos y otros documentos relativos a modificaciones y cambios de última hora, y certificación de estimaciones y pagos al contratista encargado de la construcción.

COSTOS DE CONSTRUCCION

Los costos de construcción comprenden todas las erogaciones necesarias para llevar a la realidad un proyecto, con base en los planos, especificaciones y demás documentos que definen aquel en todos sus aspectos. La construcción puede consistir simple-

mente en la adquisición e instalación de una máquina, o involucrar un conjunto de procesos constructivos complejos, en los que intervienen máquinas de muchas clases, operarios especializados, materiales y equipos sumamente variados, personal directivo y administrativo, y servicios auxiliares diversos, tales como transportes energía eléctrica, comunicaciones y muchos otros. El costo de terrenos y derechos de vía se incluyen también en la fase de construcción.

La estimación de los costos de construcción exige la clasificación de éstos en diversos rubros, de tal manera que pueda hacerse en forma ordenada y completa, sin omitir ninguna partida importante. Se consideran separadamente, por regla general, los costos directos y los indirectos.

COSTOS DE OPERACION

Los costos de operación son los necesarios para operar y mantener el sistema que se proyecta, de tal manera que se obtengan de éste los productos esperados, en las condiciones previstas durante la etapa de estudio y diseño.

Al estimar los costos de operación de una planta o instalación, deben considerarse todas las repercusiones económicas de la misma sobre la empresa. Interesa el flujo de efectivo incremental, o sea la diferencia entre los costos de operación antes del proyecto y después del mismo. Para ello es necesario determinar la "zona de influencia" de éste, considerando su impacto sobre los diferentes departamentos de la empresa. También deberá tomarse en cuenta el efecto que tendrán sobre los costos las variaciones en el nivel de utilización de la planta, de acuerdo con la demanda esperada, separando los costos fijos de los variables o semivariables.

Los costos de operación se determinan generalmente por periodos anuales coincidentes con los contables. En cada periodo se acumulan los cargos generados durante el mismo, independientemente de las fechas de pago. La diferencia entre las fechas de generación de los cargos y las de su liquidación, se toma en cuenta en el rubro de "capital de trabajo", como cuentas por pagar, según se señala más adelante.

Los principales renglones de los costos de operación de una planta son:

a) Costos de insumos de proceso y operación
b) Costos incrementales en otros departamentos

c) Capital de trabajo
d) Impuestos incrementales

INGRESOS DE OPERACION

La predicción de los ingresos por ventas es uno de los elementos más importantes y a la vez más difíciles, de la evaluación económica de proyectos. La predicción de ingresos se basa en estudios de mercado, cuyos objetivos fundamentales son la determinación de:

Volumen y tipos de ventas
Precios y descuentos
Costos de distribución y venta directa

El estudio de mercados cubre tres aspectos: los clientes, la competencia y el ambiente económico y político.

El flujo de ingresos se obtiene acumulando éstos por periodos coincidentes con los del flujo de costos de operación. Igual que para éstos últimos, se consideran en cada periodo las ventas realizadas en el mismo, independientemente de las fechas en que se realicen los pagos. El retraso de los pagos respecto a las ventas se considera al evaluar el concepto de "cuentas por cobrar" dentro del rubro de capital de trabajo.

Tratándose de proyectos sencillos de sustitución de equipo o modernización, que no afecten apreciablemente las ventas, no existe propiamente flujo de ingresos incremental. Según se dijo, pueden considerarse como ingresos los ahorros que se obtienen en la operación, o sea, los costos de operación antes del proyecto menos los costos de operación después del proyecto.

COSTOS E INGRESOS POR DESMANTELAMIENTO

Al concluir la vida económica de una instalación, es preciso desmantelarla o venderla. Dentro del flujo de efectivo del proyecto respectivo hay que considerar los costos inherentes al desmantelamiento, y la recuperación de capital proveniente de las ventas o utilización de las instalaciones para otros fines.

Cuando la instalación, o parte de ellas, se utiliza en otros proyectos, debe tomarse como valor de recuperación el costo de oportunidad de las instalaciones.

El valor de recuperación incluye el de los terrenos, en las condi-

ciones de mercado prevalencientes, y el de las instalaciones, según su posible utilización y venta.

Los costos de desmantelamiento son los necesarios para poder obtener el valor de recuperación, incluyendo demoliciones, transportes, limpieza de áreas y recuperación de materiales y equipos.

Otro elemento importante del valor terminal de un proyecto es el capital de trabajo que se recupera, incluyendo efectivo e inventarios de materias primas y artículos de operación y mantenimiento, los cuales deben tomarse a su costo de oportunidad, según las posibilidades de venderlos o darles uso.

TABULACION DEL FLUJO DE EFECTIVO

La forma más conveniente de calcular y registrar el flujo de efectivo de un proyecto es la tabular.

Cuando los conceptos que componen el flujo de efectivo no son muy numerosos, puede usarse una sola tabla, como la mostrada en la F.5.1. Cada renglón de la tabla corresponde a un elemento del flujo de efectivo, como "materiales para mantenimiento" o "adquisición de equipo". En las columnas se anotan los costos o ingresos que se verifican en cada periodo.
En el último renglón de la tabla se anotan las cifras correspondientes al flujo de efectivo total del proyecto.

Una tabla como la F.5.1 puede utilizarse también para presentar en forma resumida un flujo de efectivo complejo que comprenda gran número de conceptos. En este caso, los costos de ingeniería, construcción, operación y desmantelamiento se pueden tabular cada uno por separado, empleando formas especiales.

REPRESENTACION GRAFICA DEL FLUJO DE EFECTIVO

La representación gráfica de un flujo de efectivo discreto se hace mediante un diagrama de barras.

La escala de tiempos se representa sobre el eje horizontal; los ingresos (flujo positivo) se indican con barras hacia arriba y los egresos (flujo negativo) con barras hacia abajo.
Se supone que los ingresos y/o egresos de cada periodo se realizan al final del mismo. Por lo tanto, las barras se ubican al final del periodo en que tuvieron lugar los ingresos o egresos respectivos; su longitud representa la magnitud total de los ingresos o egresos por periodo, considerados en forma discreta.

El flujo de efectivo puede suponerse también continuo y constante durante cada periodo, aunque variable de un periodo a otro. Esta hipótesis es más realista que la anterior en la mayoría de los casos, ya que los ingresos y egresos se distribuyen por lo general a todo lo largo del tiempo. En este caso, la gráfica correspondiente es escalonada. Las abscisas de la gráfica representan los tiempos (t) expresado en año, y las ordenadas,el flujo de efectivo promedio durante cada ño, expresado en $/año. La gráfica es discontinua en los puntos = 1, 2,...9, y continua en los demás puntos. Se llamará flujo escalonado a este modelo de flujo de efectivo.

Otra representación aproximada del flujo de efectivo se obtiene suponiendo que el valor promedio para cada periodo (ordenadas del diagrama anterior se realiza únicamente en la fecha que corresponde al punto medio de dicho periodo, y que entre estos puntos el flujo de efectivo varía linealmente. La gráfica es continua en todos sus puntos, aunque la pendiente presenta discontinuidades. Este modelo de flujo de efectivo se denominará flujo lineal.

COSTO DE POSESION DEL DINERO

Desde el punto de vista de este curso, o sea del análisis económico de proyectos, debe suponerse que el patrimonio de una persona, sea física o moral, es limitado y que, en consecuencia, ésta desea obtener la máxima utilidad de sus recursos limitados.

Partiendo de esa hipótesis, la posesión de cualquier bien escaso tiene necesariamente un costo de oportunidad: el de los bienes sustitutos que se podrían obtener a cambio del bien poseído. La posesión de un automóvil exige la renuncia a otros bienes o comodidades: joyas, vestidos, viajes, etc, que se podrían adquirir con el producto de su venta. Resulta paradójico, pero real, que poseer algo implica a la vez la satisfacción de tenerlo y la insactisfacción de no poseer otras cosas, ya que no podemos tenerlo todo.

La posesión de dinero, como la de cualquier otro recurso escaso, significa un costo de oportunidad, cuyo monto puede estimarse de acuerdo con la utilidad máxima que reportaría el empleo de ese dinero en la adquisición de satisfactores. El costo de posesión del dinero es tanto más evidente cuanto que, a diferencia de otros bienes, su posesión no reporta directamente ninguna satisfacción o utilidad, excepto la de saber que se dispone de su poder adquisitivo. El dinero es valioso porque es capaz de comprar satisfacciones, o sea generar utilidades presentes. El dinero sirve en este

caso como patrón para medir el costo de posesión de cualquier otro bien.

Una de las características más importantes del dinero es la de permitirnos adquirir herramientas de producción o bienes de servicio (máquinas, instalaciones, fábricas, plantas, edificio...) mediante su inversión. Se decía en Unidades anteriores que la inversión es un gasto presente que se hace con la expectativa de obtener utilidades futuras. El empleo de cierta suma de dinero en herramientas de producción o bienes de servicio da la oportunidad de obtener una suma mayor en el futuro. Por consiguiente, el dinero es valioso, no sólo porque es capaz de comprar satisfacciones en el presente, sino también porque permite generar más dinero en el futuro. El dinero puede generar utilidades en el presente o en el futuro: en bienes o satisfactores actuales, o en dinero futuro, que a su vez podrá convertirse en satisfactores.

En el análisis económico de proyectos cuya realización requiere una inversión de capital, el costo de posesión (o costo de oportunidad) del dinero deberá medirse por las utilidades monetarias que el inversionista pueda obtener a futuro. El costo de posesión del dinero, como el de cualquier otro bien escaso, será directamente proporcional al valor que se le asigne y al tiempo que dure su posesión, puesto que el sacrificio o renuncia de otros bienes durará precisamente ese mismo tiempo. Por lo tanto, dicho costo puede medirse en unidades monetarias por unidad de tiempo (pesos/día, dólares/semana, etc). La realidad del costo de posesión se pone de manifiesto en la renta que se paga por la posesión temporal de un bien, ya se trate de una casa, un automóvil, un equipo de trabajo, etc.

Tratándose del dinero, la renta que se paga por su posesión temporal (préstamo) se denomina interés, y se expresa generalmente como una tasa o tanto por ciento anual (renta que se paga cada año por cada cien pesos).

Sin embargo, es muy importante darse cuenta de que el costo de posesión existe aun cuando no se pague ninguna renta.
Si alguien posee una casa, podría alquilarla, o venderla e invertir el dinero recibido en valores de renta fija, o efectuar alguna otra transacción. El ingreso anual o mensual correspondiente a la mejor oportunidad que se sacrifica, es el costo de posesión de la casa.
Tratándose del capital, éste tiene igualmente un costo de oportunidad que se paga necesariamente por su simple posesión en proporción directa al tiempo que dura ésta, aun cuando no se paguen intereses.

El costo de oportunidad del capital es un fenómeno económico universal, válido en cualquier tipo de economía: capitalista, socialista

o cualquiera otra. Podrá reconocerse o no el pago de intereses sobre el capital; de cualquier manera, existe un costo de oportunidad asociado a la posesión o inversión de capital.

Para la aplicación de este principio universal, debe entenderse que la "posesión" del dinero no implica que éste se guarde en efectivo. La forma más usual de posesión es, según se ha hecho notar la inversión en bienes duraderos, de los cuales se pretende obtener una utilidad monetaria futura. Posesión es — también el derecho a disponer de una suma de dinero, es decir, la concesión de un crédito, aun cuando éste no se ejerza, siempre que el dinero quede "inmovilizado".

El costo de oportunidad del capital se denomina también "valor-tiempo" del dinero; igual que el interés, se expresa generalmente como una tasa o tanto por ciento anual, semestral o mensual. El significado de la relación valor-tiempo del capital se explica más ampliamente en la siguiente sección.

MODELO MATEMATICO DE EQUIVALENCIA VALOR–TIEMPO DEL CAPITAL

Llamaremos valor del capital al costo de posesión o costo de oportunidad del mismo; siendo el valor del capital proporcional a su monto y al tiempo transcurrido, se denomina Tasa de Valor del Capital (TVC) al valor de este último por unidad de capital y por unidad de tiempo:

$$\text{TVC} = \frac{\text{Valor del capital}}{(\text{Capital})\ (\text{Tiempo})}$$

Se acostumbra tomar el año como unidad de tiempo: la tasa respectiva se designa comunmente con la letra "i" .

$$i = \text{Valor de un peso/año} = i \times 100\%$$

= lo que un peso es capaz de producir, por año, para el inversionista.

La TVC se denomina también "Tasa de Rendimiento Mínimo Aceptable" (TRMA) del capital, porque el inversionista no aceptaría una utilidad o "rendimiento" menor de su inversión. En este curso se usará preferentemente el término tasa de valor del capital, designándolo con las iniciales TVC, o con la literal i .

El significado de la TVC es el siguiente:

> Un peso hoy equivale a $(1+i)$ pesos dentro de un año, en el sentido de que ambos tienen el mismo valor para el usuario. ##

Si éste recibe un peso hoy, puede invertirlo en bienes o servicios que generen para él i pesos de utilidad al cabo de un año. Recuérdese, en efecto, que cada persona estima el valor del dinero por las utilidades que puede producirle.

TIEMPO (Años)	0		1	Un peso en el tiempo 0
	↕		↕	equivale (=) a
VALOR ($)	1	=	1 + i	(1 + i) pesos en el tiempo 1

Equivalencia implica indiferencia para el usuario del dinero: éste se mostraría indiferente ante las alternativas "recibir un peso hoy" y "recibir $(1 + i)$ pesos dentro de un año".

Los i pesos de utilidad generados en un año se incorporan al capital del usuario. El proceso de incorporación de las utilidades al capital se denomina capitalización. Cuando dicha incorporación tiene lugar cada año, se dice que el periodo de capitalización es un año, o también, que la capitalización es anual o que las utilidades son capitalizables anualmente. La capitalización puede ser semestral, mensual , etc., según se estipule y se realice la recepción de las utilidades. Por ahora se considerará capitalización anual.

Por un razonamiento igual al antes expuesto, se deduce que cada peso en el tiempo $t = 1$, equivale a $(1 + i)$ pesos en el tiempo $t = 0$ equivale a $(1 + i)(1 + i) = (1 + i)^2$ pesos en el tiempo 2:

TIEMPO t(años)	0		1		2	Un peso en el tiempo 0 equivale (=) a $(1+i)^{2/}$ pesos en el tiempo 2
	↕		↕		↕	
VALOR ($)	1	=	(1 + i)		$= (1 + i)^2$	

En general, se tendrá la siguiente equivalencia "valor-tiempo" del capital.

TIEMPO t(años)	0	1	2	n
VALOR ($)	1	$= (1+i) =$	$(1+i) =$	$(1+i)^n$

Un peso en el tiempo $t = 0$ equivale (=) a $(1+i)^n$ pesos en el tiempo $t = n$

Considerando que el capital inicial es P, en vez de 1, la fórmula de equivalencia general será:

$$F = P\ (1+i)^n \qquad (E.6.1)$$

Siendo:

P = capital presente

F = capital futuro equivalente a P

n = número de años o, en general, número de periodos de capitalización transcurridos entre el "presente" y el futuro

i = tasa de valor del capital (TVC) por año o, en general, por periodo de capitalización

Para la aplicación de este modelo, debe entenderse que el "presente" es un tiempo cualquiera y que el "futuro" es un tiempo posterior cualquiera.

La ecuación E.6.1 es el modelo básico de equivalencia valor-tiempo del capital, en el cual se funda el análisis económico de proyectos. Por lo tanto, es muy importante entender claramente su significado y conservarlo siempre presente. Se denomina también modelo de capitalización, por estar basado en el proceso que lleva este nombre.

DESCUENTO DEL CAPITAL

Se ha establecido la equivalencia de una cantidad presente P a una cantidad futura F. Esta última se obtuvo por capitalización de las utilidades que P es capaz de generar, de acuerdo con la fórmula E.6.1. La equivalencia es válida también en sentido inverso: una suma futura F equivale a una suma presente P, la cual

se obtiene descontando F por medio de la fórmula:

$$P = F\,(1 + i)^{-n} \qquad \text{(E.6.2)}$$

siendo

F capital en una fecha futura

P capital presente equivalente a F

n, i : igual que en E.6.1

Recuérdese que multiplicar por $(1+i)^{-n}$ es lo mismo que dividir entre $(1+i)^{n}$ por definición de exponente negativo.

La tasa de valor del capital (i) se denomina también, en este caso, tasa de descuento del capital. La operación de descuento pone en evidencia:

a) Que una cantidad por recibir en el futuro tiene menor valor, es decir, representa una utilidad menor, que la misma cantidad recibida en el presente.

b) Que una cantidad por pagar en el futuro representa un costo menor, es decir, un sacrificio o pérdida de utilidad menor, que la misma cantidad erogada en el presente.

Por medio de los modelos E.6.2 y E.6.1 se pueden convertir diferentes sumas por recibir o erogar en el futuro, en sus equivalentes presentes respectivos, o viceversa.

Ello permite:

a) Comparar el valor (para el inversionista) de sumas correspondientes a diferentes fechas futuras, reduciéndolas a un común denominador temporal.

b) Sumar o restar cantidades erogadas o recibidas en diferentes fechas, reduciéndolas antes a su valor equivalente en una misma fecha.

c) En consecuencia, analizar y evaluar el flujo de efectivo asociado con una alternativa cualquiera de inversión.

MODELOS DE EQUIVALENCIA PARA PERIODOS DE CAPITALIZACION MENORES DE UN AÑO

En la discusión anterior se empezó por suponer que el periodo de

capitalización es de un año. En ocasiones es necesario o conveniente considerar un periodo de capitalización diferente:

a) Un contrato de inversión en bonos financieros puede estipular el pago trimestral o semestral de los intereses; éstos se incorporan al capital y pueden a su vez generar intereses al invertirlos en los mismos bonos o en otros valores semejantes.

b) El pago de una deuda se puede pactar con intereses pagaderos mensualmente sobre saldos insolutos.
Desde el punto de vista del acreedor, la capitalización de los intereses es mensual.

c) Un contrato de obra estipulada normalmente la estimación y pago mensual de los trabajos ejecutados por el contratista. Los pagos mensuales compensan a éste por los costos en que ha incurrido, e incluyen la utilidad correspondiente; ésta se incorpora al capital de trabajo y es re-invertible de inmediato, por lo cual podría suponerse una capitalización mensual en el análisis de las inversiones hechas por la empresa constructora, para un contrato específico.

d) Una empresa de producción, considerada en su conjunto, percibe ingresos por operación (ventas) distribuidos en todos los días del año. Se puede suponer un flujo de efectivo "continuo", lo cual implica que las utilidades ingresan también en forma continua y se incorporan al capital de la empresa. En consecuencia, en el análisis de las inversiones de dicha empresa puede suponerse una capitalización diaria o continua.

En los casos a), b) y c) anteriores, la capitalización es discreta o sea por periodos. Cuando la duración de estos periodos es muy corta (por ejemplo, 1 día) nos acercamos al límite, que es la capitalización continua, con periodos infinitesimales: el dinero se recibe sin interrupción y cada peso que ingresa se incorpora de inmediato al capital.

Debido a que el periodo de capitalización puede variar, según se ilustró en los párrafos precedentes, al estipular una tasa de valor del capital o de interés, es necesario precisar también dicho periodo. Así, diríamos: "un interés del 10% anual, capitalizable anualmente" o "una TVC de 15% anual, con capitalización trimes-

tral". En el lenguaje comercial y financiero, una tasa de "3% trimestral", significa lo mismo que "12% anual, capitalizable trimestralmente"; de igual manera, "1% mensual" significa - "12% anual, capitalizable mensualmente".

La tasa anual de interés o valor del capital, considerada independientemente del periodo de capitalización, se conoce como tasa nominal. En los últimos dos ejemplos del párrafo anterior la tasa nominal es de 12%. La tasa nominal es la tasa de generación de utilidades, por unidad de capital y por año.

Haciendo:

r = tasa nominal

m = número de periodos de capitalización por año

la TVC por periodo será

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

y el número de periodos de capitalización en n años será $m\,n$.

Sustituyendo estos valores en la expresión E.6.1,

$$F = P\left(1 + \frac{r}{m}\right)^{m.n} \qquad \text{E.6.3}$$

Esta es la fórmula que debe usarse, en vez de E.6.1, cuando el - periodo de capitalización es menor de un año. La fórmula de descuento que sustituiría a la E.6.2 sería:

$$P = F\left(1 + \frac{r}{m}\right)^{-m.n} \qquad \text{E.6.4.}$$

Trátese ahora de hallar una TVC con capitalización anual que rinda las mismas utilidades que r con m periodos de capitalización por año. La tasa buscada se denomina tasa efectiva (anual) equivalente a la tasa nominal r. Si la tasa efectiva es i_e, se debe - tener

$$P\left(1 + \frac{r}{m}\right)^{m\,n} = P\left(1 + i_e\right)^{n}$$

##

Dividiendo ambos miembros entre P y extrayéndoles después - raíz n -ésima, se obtiene:

$$(1 + \frac{r}{m})^{m} = 1 + i_e$$

de donde se deduce:

$$i_e = (1 + \frac{r}{m})^{m} - 1 \qquad \text{E.6.5.}$$

CAPITALIZACION CONTINUA

Según se hizo notar, en muchas empresas industriales y comerciales es realista suponer un flujo de ingresos continuo y una - capitalización continua.

> La capitalización continua equivale a suponer que cada peso que se recibe tiene de inmediato un costo de oportunidad, ya que las oportunidades de inversión están siempre presentes para la empresa

Considerar un periodo de capitalización anual equivale a suponer que un peso de utilidad que recibe la empresa no puede invertirse hasta el final del año correspondiente y que, entre tanto, no tiene costo de oportunidad; esta hipótesis no es realista.

Para hallar las fórmulas aplicables bajo la hipótesis de capitalización continua, se puede suponer que el número de periodos de capitalización por año crece indefinidamente. Es decir, en la fórmula E.6.3 se considera $m \to \infty$.
En los cursos de análisis matemático se demuestra que

siendo e = 2.71828..., la base de los logaritmos naturales o neperianos. En la fórmula E.6.3

$$\lim \quad F = P \left[\lim_{m \to \infty} \left(1 + \frac{r}{m} \right)^{m.n} \right]$$

$$= P \left[\lim_{m \to \infty} \left(1 + \frac{r}{m} \right)^{m} \right]^{n}$$

Sustituyendo el límite mencionado se obtiene, cuando se considera capitalización continua:

$$F = P. e^{rn}$$

Como el tiempo (años) es en este caso una variable continua — que puede tomar un valor cualquiera, y no necesariamente un valor entero, es preferible designarlo por la letra T, en vez de n. La fórmula anterior quedaría:

$$F = P. e^{r.t} \qquad \text{E.6.6.}$$

y la fórmula de descuento correspondiente sería:

$$P = F. e^{-rt} \qquad \text{E.6.7.}$$

Ambas fórmulas sustituyen a E.6.1 y E.6.2 cuando se supone - capitalización continua.

Finalmente, la tasa efectiva i_e equivalente a la tasa nominal r con capitalización continua, se obtiene por definición, haciendo

$$P (i_e + 1)^t = P. e^{rt}$$

De donde

$$1 + i_e = e^r$$

o sea,

$$i_e = e^r - 1 \qquad \text{E.6.8.}$$

COSTO VS. VALOR DEL CAPITAL

El dinero, como cualquier mercancía o recurso escaso, tiene un mercado que se rige por la relación cambiante entre la oferta y - la demanda. En este caso, la oferta de capital está regulada --

por el Estado, único legalmente autorizado para producir moneda o símbolos monetarios, y ponerlos en circulación, a través de la banca central (en nuestro país, el Banco de México). La demanda de capital, por otra parte, depende de las condiciones económicas prevalecientes en el país, muy especialmente del volumen de inversiones, tanto del sector público como del privado.

Las transacciones de capital están regidas por leyes especiales que aseguran la confianza del público y la estabilidad económica. La materia de dichas transacciones es el crédito, o sea el derecho de disponer temporalmente de una suma de dinero, mediante el pago de un interés, a una tasa especificada.— El costo del capital es precisamente la tasa anual estipulada, la cual depende predominantemente de las condiciones del mercado de capital, y no de las condiciones y preferencias de cada uno de los beneficiarios. En tal virtud, el costo del capital es un concepto objetivo, es decir, ligado al objeto del crédito (el dinero) y no al sujeto del mismo.

En contraste, el concepto de valor del capital es predominantemente subjetivo. En términos económicos, valor significa el aprecio, mérito o valía que una persona concede a un objeto o a un servicio. Dicho valor es diferente para cada individuo, y puede diferir grandemente del costo o precio del objeto en el mercado. El valor es una estimación de la utilidad del objeto para la persona; de la capacidad de ese objeto para satisfacer sus necesidades en circunstancias determinadas.

por tanto el valor del capital depende esencialmente del sujeto-beneficiario del mismo y de las circunstancias particulares en que éste se encuentre. El usuario del capital concederá tanto más valor a éste cuanto mejores sean las oportunidades de obtener una utilidad de su inversión. La utilidadque interesa al inversionista no es la asociada a la compra de satisfacciones en el presente, sino la derivada de un ingreso futuro que le permita recuperar el capital invertido y, adicionalmente, le deje un "margen de utilidad" conveniente. El dinero vale porque es capaz de generar utilidades monetarias a través del tiempo mediante su inversión. El capital crece cuando se invierte con acierto.

Se ve claramente que el valor del capital es idéntico a su costo de oportunidad. Se puede, en efecto, establecer las siguientes identidades:

Utilidad que puede obtenerse de $ 1 adicional	=	Costo de no tener $ 1 adicional

o sea,

Valor de $ 1 más	=	Costo de oportunidad de $ 1 menos

Una consecuencia importante es que

> El valor del capital es igual a su costo de oportunidad "marginal", o sea la utilidad obtenible de cada peso adicional.

En los estudios de análisis económico se trata de maximizar las utilidades de una empresa o de un grupo social. Por tal motivo,

> la tasa de valor del capital que debe usarse en el análisis económico es la que tenga aquél para la empresa o el grupo social afectado, en el horizonte de tiempo y las circunstancias relevantes a la decisión.

Se pueden cometer errores muy serios si se toma como criterio de análisis el costo del capital en lugar del valor que este tiene para la empresa (o para los contribuyentes, en el caso de las obras públicas). El valor del capital queda determinado, como ya se dijo, por la máxima utilidad que podría obtenerse por cada peso de capital adicional susceptible de ser invertido. Debido a que el capital de una empresa normalmente está restringido, de tal manera que no puede aprovechar todas las oportunidades de inversión que se le presentan, el valor del capital para la empresa es casi siempre sustancialmente mayor que dl costo del capital obtenible en el mercado (bancos e instituciones financieras).

CRITERIO DEL CAPITAL PRESENTE EQUIVALENTE

Ya se ha visto la forma en que un flujo de efectivo cualquiera puede transformarse en un capital presente equivalente (CPE). Este puede tomarse como criterio de evaluación de-dicho flujo de efectivo, según se enuncia a continuación:

CRITERIO CPE:

> Un flujo de efectivo es conveniente cuando el capital presente equivalente al mismo (CPE) - es igual o mayor que cero, considerando la - TVC del inversionista

En efecto, un CPE positivo significa que el inversionista :

a) Recupera íntegramente el capital invertido

b) Obtiene en cada periodo una utilidad de (TVC) % sobre el capital invertido aun no recuperado. Recuérdese que la TVC es el % de utilidad mínimo que el inversionista considera aceptable

c) Incrementa su patrimonio actual en la cantidad CPE, además de obtener la utilidad mencionada en b)

En el caso en que CPE = 0, el inversionista obtiene de su - capital la utilidad mínima que considera aceptable. Cuando CPE $<$ 0, el inversionista no obtiene dicha utilidad mínima aceptable, por lo cual el flujo respectivo es indeseable.

El criterio del capital presente equivalente se denomina también criterio del Valor Presente. En este curso se usará generalmente la primera denominación, para enfatizar el concepto de equivalencia de flujos de efectivo, que es la idea central del análisis económico.

CRITERIO CPE PARA SELECCION DE ALTERNATIVAS

Considérense dos alternativas mutuamente exclusivas "A" y "B", siendo la inversión inicial en "B" mayor que en "A", y sean:

$(CPE)_A$ = capital presente equivalente al flujo de - efectivo asociado a la alternativa "A"

$(CPE)_B$ = capital presente equivalente al flujo de - efectivo asociado a la alternativa "B"

$(CPE)_{B-A}$ = capital presente equivalente a la diferencia entre el segundo flujo de efectivo y el primero

Entonces,

$$(CPE)_A = \sum_{j=0}^{n} X\,j\,A. \quad (P/F, i, j) \qquad (1)$$

siendo $X\,j\,A$ = año "j", componente del flujo de efectio "A" en el

n = horizonte económico de las alternativas (años)

Análogamente,

$$(CPE)_B = \sum_{j=0}^{n} X\,j\,B \quad (P/F, i, j) \qquad (2)$$

Por lo tanto,

$$(CPE)_B - (CPE)_A = \sum_{j=0}^{n} (X\,j\,B - X\,j\,A)\,(P/F, i, j) \qquad (3)$$

o sea, $(CPE)_B - (CPE)_A = (CPE)_{B-A}$

De ésta última igualdad se deduce que:

Si $(CPE)_{B-A} \geq 0$, $(CPE)_B \geq (CPE)_A$

En otras palabras, si de acuerdo con el criterio CPE expuesto antes, "B" es preferible a "A", el capital presente equivalente al flujo "B" es mayor o igual que el correspondiente a "A". Por lo tanto, el criterio CPE puede enunciarse también de la siguiente manera:

CRITERIO CPE PARA
SELECCION DE ALTERNATIVAS

Dado un conjunto de alternativas mutuamente exclusivas, la alternativa óptima es aquella cuyo flujo de efectivo tiene el CPE máximo.
De dos o más alternativas que tienen el mismo CPE, la óptima es aquella que requiere la mayor inversión inicial.

Lo anterior significa que al aplicar el criterio CPE, no es nece-

sario obtener las diferencias de flujos entre alternativas, sino que se puede calcular directamente el CPE del flujo correspondiente a cada alternativa y seleccionar la que tenga el máximo CPE.

CUT/bsp.

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

CURSO

INGENIERIA DE SISTEMAS

- Tema

APLICACIONES AL PLAN NACIONAL HIDRAULICO

Autores

M. en I. Fernando González Villarreal — Vocal Ejecutivo de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico S.A.R.H.

M. en I. Jorge C. Saavedra Shimidzu — Profesor de las materias de Ingeniería de Sistemas I y II Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

AGOSTO 1977

C O N T E N I D O

I. El Aprovechamiento del Agua y la Ingeniería de Sistemas

II. Los Objetivos del Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos

III. El Plan Nacional Hidráulico

IV. Aplicaciones al Plan Nacional Hidráulico

- a). Modelos
- b). Agua para riego. Modelo de Programación Lineal
- c). Modelo de Simulación Hidrológica del Río Bravo
- d). Modelo de Simulación de la Cuenca Grijalva-Usumacinta

V. Referencias y Bibliografía.

CURSO: INGENIERIA DE SISTEMAS

TEMA: APLICACIONES AL PLAN NACIONAL HIDRAULICO

Agosto, 1977.

I. El aprovechamiento del agua y la ingeniería de sistemas

El agua es un recurso natural escaso y necesario, aunque no suficiente, para el bienestar humano y para el desarrollo económico, presentando características especiales en cuanto a su cantidad disponible, tanto en el espacio como en el tiempo, así como en la calidad con la cual se presenta y se requiere para su utilización.

El proceso de asignación de los recursos hidráulicos hácia los diversos usuarios puede caracterizarse como el problema clásico de asignación de recursos en general (1):

"existe una cantidad limitada de agua la cual es demandada por una serie de usuarios alternativos, los cuales piden diferentes cantidades y calidades del recurso, teniendo que definirse la escala del proyecto que haga utilizable la cantidad adecuada para satisfacer lo más posible de las necesidades bajo una determinada forma de operación del proyecto".

En la caracterización anterior se incluyen desde la fase de planeación y construcción de las obras, hasta las fases de asignación y administración del recurso, las que deben contemplar y analizar en forma integral al hombre, a la sociedad, a la economía microrregional, regional y nacional, al medio ambiente y su preservación, a la tecnología existente y a las bases legales que deben regir la utilización de los recursos hidráulicos. El proceso, entonces, se caracteriza como un proceso de decisión en el que se incluyen un gran número de variables, parámetros e interrelaciones de diversos sectores usuarios y el comportamiento estocástico tanto de la oferta como de la demanda de agua, todo lo cual señala a la utilización de las técnicas y filosofía de análisis de la INGENIERIA DE SISTEMAS como enfoque recomendable en los diferentes niveles de estudio.

A lo largo de este artículo se abundará en los enfoques filosóficos y metodológicos de la Ingeniería de Sistemas relacionados con el manejo de los recursos hidráulicos, mostrando algunas aplicaciones específicas realizadas durante el desarrollo de los trabajos de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico. En la primera parte se caracteriza al problema de asignación del agua como un enfoque de objetivos múltiples, involucrando en la segunda parte a la metodología de estudio que se sigue en la elaboración del Plan Nacional Hidráulico con el mecanismo de retroalimentación característico del enfoque de sistemas. En la tercera parte se presenta el pa-

norama completo de la situación del recurso agua en México para poder enmarcar las aplicaciones de las herramientas de la ingeniería de sistemas efectuadas para zonas y problemas específicos de nuestro país.

II. Los objetivos del aprovechamiento de los recursos hidráulicos

Evidentemente que cualquier política de aprovechamiento de los recursos hidráulicos debe contemplar los objetivos de la política nacional, siendo ésta la que definirá las políticas y metas de desarrollo de los diversos sectores y regiones del país.

En el contexto de nuestro país, los objetivos nacionales fijados son los siguientes:

- Mejorar la distribución del ingreso
- Generar empleo permanente y productivo
- Incrementar el ingreso de los campesinos
- Reducir la dependencia externa
- Alcanzar la tasa más alta de desarrollo compatible con la estabilidad económica y social.
- Preservar la calidad del medio ambiente y
- Lograr relaciones económicas más justas que permita una mayor expansión del comercio internacional teniendo en cuenta las diferencias reconocidas de desarrollo de los países pobres y sus necesidades específicas.

El manejo, la utilización y la preservación de los recursos hidráulicos quedarán sujetos, entonces, a los objetivos públicos fijados por las políticas nacionales y regulados por las leyes existentes, la legislación procedente para los propósitos específicos y las normas restrictivas vigentes.

Los objetivos de los sistemas de recursos hidráulicos, con todo el contenido político involucrado, pueden ser descritos probablemente como un espectro de metas más que como la maximización de una simple cantidad escalar (2). Al contemplar el espectro de metas, pocas de ellas serán apoyadas por toda la gente y todas las metas en su conjunto o en su mayoría serán apoyadas por unos cuantos. Del estudio de todo ese espectro de metas en razonable aproximar los objetivos fundamentales de los sistemas de recursos hidráulicos de la siguiente manera:

1. Controlar o manejar los recursos de agua de una región geográfica o

política para protegerse contra la consecuencia del exceso o escasez en cantidad o del demérito de la calidad del agua.

2. Dar agua o mantenerla en aquellos lugares y tiempos y en la cantidad y calidad adecuada para el consumo de la vida humana y de los animales de la flora y fauna silvestres, para la producción y proceso de los alimentos, para la producción industrial, incluyendo la generación de energía, para el comercio y para la recreación y conservación, considerados deseables por la política nacional.

3. Alcanzar todo lo anterior con el mínimo deterioro de los recursos naturales económicos y humanos disponibles.

Con el fin de disectar un poco más los objetivos múltiples involucrados en cualquier desarrollo o aprovechamiento de los recursos hidráulicos se podrían citar, exclusivamente con fines de análisis, los siguientes objetivos simples :

a) eficiencia económica
b) desarrollo económico
c) mantenimiento de una economía
d) recreación
e) conservación
f) protección contra inundaciones o sequías
g) control de la calidad del agua
h) navegación, etc.

III. El Plan Nacional Hidráulico

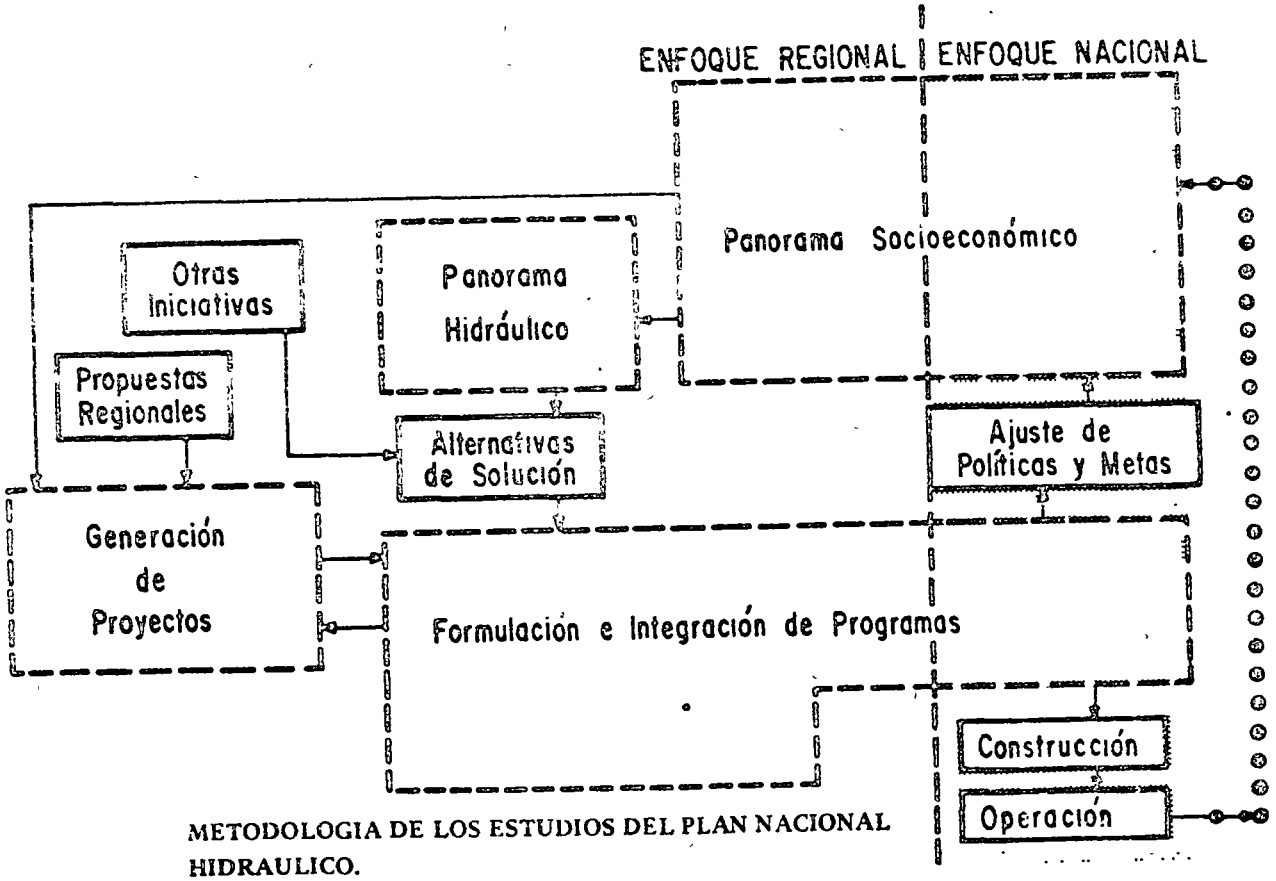
El Plan Nacional Hidráulico tiene como propósito el de formular e instituir un proceso sistemático de la planeación del aprovechamiento de los recursos hidráulicos para la selección racional de programas, proyectos y políticas en esta materia, que coadyuven al logro de los objetivos del desarrollo socioeconómico nacional.

Se plantea en ocasiones que la cantidad, la calidad y la distribución espacial y temporal del agua pueden limitar el desarrollo, sobre todo en un país con las características climáticas, orográficas y geográficas de México./ Considerando los objetivos de desarrollo nacional, los futuros alternativos del crecimiento en los próximos 25 años y después de hacer un análisis cuidadoso de la disponibilidad y demanda de agua, el Plan Nacional Hidráulico llega a la conclusión de que no sólo los recursos hidráulicos, sino también el suelo son suficientes para apoyar el futuro desarrollo de México, siempre y cuando se utilicen adecuadamente, lo cual implica tomar medidas de administración del agua, de control de la contaminación y de manejo y protección contra la erosión del suelo que se encuen--

tran enumeradas en el Plan. (3).

Dentro de un enfoque de sistemas, el proceso de planeación se describe usualmente como una identificación de las metas y el manejo de la información y los datos necesarios para evaluar las alternativas y recomendar un curso de acción, al mismo tiempo que se mencionan las consecuencias de los planes alternativos que ayuden en la toma de decisiones. En el inicio del proceso de planeación se debe efectuar una selección tentativa de metas, las cuales estarán sujetas a modificarse conforme avance el proceso.

El objetivo primordial de la obra hidráulica es el hombre y por esto la Comisión del Plan Nacional Hidráulico se integra en forma interdisciplinaria buscando siempre balancear el peso de los estudios físicos, técnicos, sociales, económicos e institucionales. En esta organización, más la metodología de los estudios adoptada la cual se muestran en la figura, resaltan los puntos filosóficos básicos del enfoque del análisis de sistemas que permiten contemplar el panorama hidráulico, o sea la oferta y la demanda de agua, generándose las alternativas de solución a los problemas las cuales junto con otras propuestas existentes son los elementos básicos que sirven para formular e integrar los programas de desarrollo de los aprovechamientos hidráulicos en cada una de las regiones del país.



METODOLOGIA DE LOS ESTUDIOS DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO.

Los programas regionales se integran al nivel nacional con el objeto de analizar la compatibilidad de la oferta de los programas con las demandas derivadas del desarrollo y de los requerimientos de recursos financieros y humanos, con la disponibilidad de los mismos. De este análisis se derivan algunos ajustes en las metas y cambios en las políticas originalmente planteadas, completándose así un ciclo en la metodología del Plan. Los resultados de la implantación y operación de los programas retroalimentan el panorama socioeconómico y permiten identificar nuevas metas.

Todo lo anteriormente mencionado con respecto al agua y a la ingeniería de sistemas estuvo relacionado con la parte "de arte" o "metodología" del análisis de sistemas. A continuación y para poder pasar a la aplicación directa "de la ciencia" o de las herramientas propias de la investigación de operaciones al análisis de los sistemas hidráulicos, presentaremos brevemente la problemática del agua en nuestro país.

IV. Situación actual del agua en México

La creciente demanda por el agua como un resultado del crecimiento demográfico y económico, del desarrollo industrial y de la gran necesidad de productos agrícolas, ha originado una competencia de estos usos por el agua, lo que tiende a convertirse en una lucha que afectaría paulatinamente el desarrollo económico y social del país.

La distribución geográfica de nuestros recursos hidráulicos junto con el crecimiento explosivo de la población cuya tasa es de 3.4% anual, superior a la de muchos otros países y el crecimiento industrial que en la última década ha sido del 7.2% anual, originan problemas de cantidad y calidad del agua disponible, por no recibir en la actualidad dicho recurso tratamiento alguno, salvo en casos especiales (en las ciudades de México y Monterrey) (4).

En nuestro país, el 80% de la actividad industrial, se localiza en elevaciones superiores a los 500 m. de altura sobre el nivel del mar y entre los paralelos 18° a 22°, coincidiendo con el 70% de la población, la cual se concentra en estos mismos lugares, mientras que el 85% de nuestros recursos hidráulicos se encuentran abajo de dicha zona, estableciéndose así una demanda excesiva de agua en las regiones en las que la oferta es escasa, planteando por lo tanto los problemas de abastecimiento para las actividades básicas (5).

México tiene una precipitación de 777 mm., equivalente a 1.5 billones de m^3 anuales y aún cuando en términos generales se puede decir que cuenta con agua en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades presentes y futuras, la mala distribución geográfica del recurso crea problemas de escasez de agua en diversas zonas, incluyendo aquellas donde se ha tenido fuerte crecimiento urbano e industrial (6).

En la figura 1 se muestra la distribución del índice de aridez en el país, índice que toma en cuenta la temperatura media máxima del mes más caluroso, la temperatura mínima del mes más frío y la precipitación media anual.

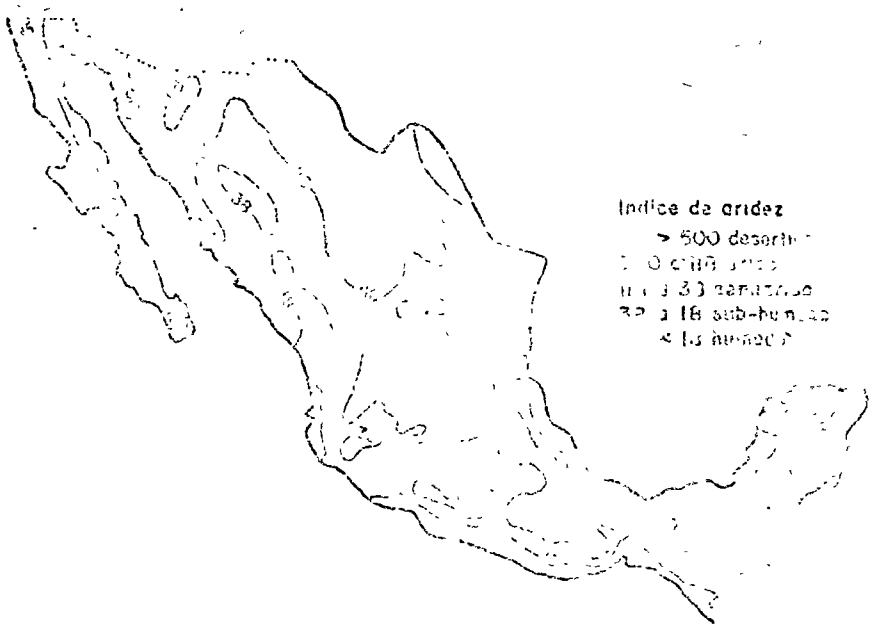


Figura 1.- Distribución del índice de aridez.

a). Agua superficial

La disponibilidad de agua superficial se ha estimado a través de las 1457 estaciones que componen la red hidrométrica del país, las cuales aforan cuencas que cubren el 58% de la superficie y que se muestra en la figura 2.

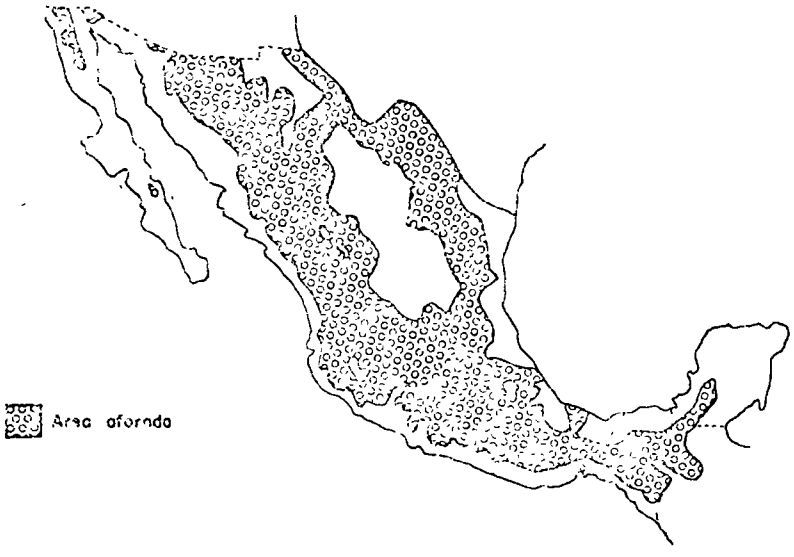


Figura 2.- Areas aforadas en la República Mexicana.

En la figura 3 se ilustra la distribución geográfica del escurrimiento medio anual a través de las líneas de isoescurrimiento. En el caso de la Península de Yucatán el escurrimiento es del tipo subsuperficial y su volumen se estimó igual al valor de la precipitación en exceso que varía de 211 a 230 mm.

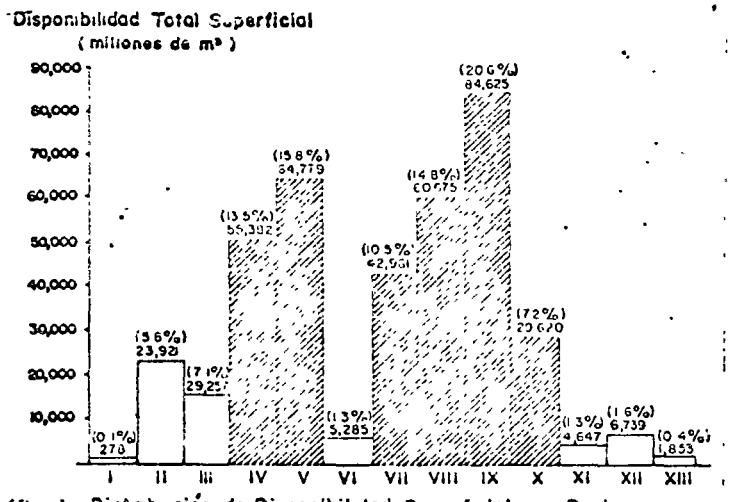
La disponibilidad total superficial se estima en 410 mil millones de m3 anuales y la figura 4 ilustra su distribución para las 13 regiones en que se dividió al país. Destacan

las regiones Grijalva-Usumacinta, Pacífico Sur-Istmo, Papaloapan, Balsas, Golfo y Península de Yucatán las cuales concentran el 82.4% de la disponibilidad total ocupando solamente el 34.5% de la superficie total del país, ver gráfica 1.

Figura 3.- Distribución geográfica del escurrimiento.

El problema de la irregularidad de los escurrimientos en el tiempo y en el espacio se ve resuelto en parte por la construcción de vasos de almacenamiento para el control y aprovechamiento de ellos. Actualmente se cuentan con 95 mil millones de m^3 en almacenamientos artificiales y 25 mil millones de m^3 en lagos y vasos naturales. La finalidad en la construcción de los almacenamientos ha variado pues anteriormente se hacían con un sólo propósito, ahora es con fines múltiples debido a la necesidad de aprovechar al máximo posible el recurso agua y a las grandes inversiones que se dedican actualmente a estos.

Figura 4.-. Regionalización del País.



Gráfica 1.-Distribución de Disponibilidad Superficial por Regiones

Paralelo a la mala distribución del recurso hidráulico en México, se encuentra el de la población. En el cuadro 1 puede notarse que las regiones Pacífico-Centro, Balsas, Centro Lerma, Bravo y Valle de México donde se concentra el 60.8% de la población total del país sólo es posible contar con el 23.9% de la disponibilidad total del agua, en tanto que en el altiplano, las regiones XII y XIII con el 36.5% de la población se dispone únicamente con el 2.0% de los recursos de agua.

REGION	POBLACION (MILES DE HABITANTES)				DISPONIBILIDAD	
	Urbana	Rural	Total	Porciento	Volumen(millones) M3.	Porciento
I. Península de B. C.	754.6	94.1	848.7	1.4	279	0.1
II. Noroeste	2296.8	1448.5	3745.3	6.3	23921	5.8
III. Pacífico Centro	1621.0	898.3	2519.3	4.2	29257	7.1
IV. Balsas	3499.6	3356.5	6856.1	11.6	55383	13.5
V. Pacífico Sur Istmo	1362.6	1709.4	3071.7	5.2	64780	15.8
VI. Bravo	4060.1	949.7	5009.8	8.5	5286	1.3
VII. Golfo	2487.8	3346.9	5834.7	9.8	42951	10.5
VIII. Papaloapan	2107.0	2033.5	4140.5	7.0	60676	14.8
IX. Grijalva-Usumacinta	679.9	1305.2	1985.1	3.3	84625	20.6
X. Península de Yucatán	874.6	442.2	1316.8	2.2	29620	7.2
XI. Cuenca Cerr. Norte	1202.8	1182.7	2385.5	4.0	4648	1.3
XII. Centro - Lerma	6061.1	3750.6	9811.9	16.6	6739	1.6
XIII. Valle de México	10521.7	1304.5	11826.0	19.9	1854	0.4
TOTAL	37529.3	21822.1	59351.4	100.0	410029	100.0

Cuadro 1.- Disponibilidad de agua y distribución de población.

b). Agua subterránea

A diferencia del agua superficial (7), cuya medición puede realizarse antes de iniciar las obras para su aprovechamiento, la toma sistemática de datos de recursos hidráulicos subterráneos se inicia con la explotación mis

ma del recurso. La información hidrológica de las aguas subterráneas ha sido colectada con fines específicos en períodos de observación muy cortos y para conocer la disponibilidad de este recurso a nivel nacional, se llevan a cabo estudios regionales de reconocimiento hidrogeológico que consideran toda la información geológica superficial y subterránea.

Actualmente los estudios de reconocimiento cubren alrededor del 57% del territorio nacional, correspondiente a las cuencas de los ríos Papaloapan y Bravo, a los estados de Sonora y Sinaloa y a una porción de la Península de Baja California, dando como resultado a la fecha la clasificación de las diferentes zonas acuíferas de acuerdo al volumen disponible, la profundidad de los niveles estáticos, el rendimiento de los pozos y la calidad del agua. Se han localizado además 32 lugares en donde se explotan mayores volúmenes de los que se renuevan, minando por lo tanto los almacenamientos subterráneos, como en el Valle de México y la Costa de Hermosillo.

También, de los estudios realizados, se ha estimado que una tercera parte de las áreas de riego y el 70% de las demandas urbano-industriales se satisfacen con aguas subterráneas, recurso que por su propia naturaleza es más difícil de cuantificar y se calcula aproximadamente en 30 mil millones de m^3 anuales el escurrimiento subterráneo, es decir 13.6 veces menor al de la disponibilidad superficial.

c). Demanda del agua

Cualquier política de manejo de recursos y su implantación debe estar basada en estudios particulares de cada uno de los diversos usos del agua, ya que ellos responden a características variables específicas que determinan sus patrones de comportamiento, por lo que se dedica estudios específicos para cada caso.

Entre los principales usos a que se destina el recurso hidráulico, están:

a) doméstico
b) energético
c) industrial
d) agrícola
e) recreativo

Dentro de estos usos, existen algunos que se llaman no-consuntivos, es decir que no consumen agua en su proceso o que consumen una mínima parte del agua extraída para procesarse, citándose como ejemplo al uso de generación de energía hidroeléctrica. El uso agrícola es un uso consuntivo ya que la mayor parte del agua destinada al riego se queda en el proceso.

Una visión general de la distribución de los volúmenes de agua utilizados en los usos mencionados, se desprenden de las siguientes estimaciones hechas en 1970, ver cuadro 2.

U S O	Extracción	Consumo
Doméstico	1.9%	1.7%
Riego	42.0%	96.7%
Industrial	1.8%	0.6%
Generación de energía eléctrica	54.3%	1.0%
Volumen total	137,197x10^6 m3	46,639x10^6 m^3
Disponibilidad de agua superficial	410,029x10^6 m3	

Cuadro 2: Distribución de los volúmenes de extracción y consumo de agua para los diferentes usos.

Se puede observar la importancia del uso agrícola del agua a nivel nacional, ya que representa el 96% del agua consumida en el país.

d). Aspectos legales

En México, los aspectos sociales y económicos del recurso agua se ven reglamentados a través de la Ley Federal de Aguas promulgada en 1972 la cual otorga al Ejecutivo Federal atribuciones específicas para planear, estudiar, construir, administrar, controlar, conservar y regular el aprovechamiento de los recursos hidráulicos del país.

La relación fundamental del hombre con el agua y la función social del recurso quedan perfectamente definidas en el artículo 27 de la citada ley en el cual se establecen prioridades para el uso del agua de la siguiente manera:

Art. 27.- Para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas de propiedad nacional que incluyen las del subsuelo, la Secretaría deberá observar el siguiente orden de prelación:

I. Usos domésticos;

II. Servicios públicos urbanos;

III. Abrevaderos de ganado;

IV. Riego de terrenos:

a) Ejidales y comunales.
b) De propiedad privada.

V. Industrias:

a) Generación de energía eléctrica para servicio público;
b) Otras industrias;

VI. Acuacultura;

VII. Generación de energía eléctrica para servicio privado;

VIII. Lavadó y entarquinamiento de terrenos; y

IX. Otros.

El Ejecutivo Federal podrá alterar este orden, cuando lo exija el interés, salvo en el de los usos doméstico que siempre tendrán preferencia.

Esta Ley Federal de Aguas, junto con la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, también expedida en 1971, es ya una base aplicable a la realidad, para la regulación efectiva del aprovechamiento del agua y prevé los problemas que tendrán que afrontarse en el futuro.

Por todo lo anterior, tanto en los aspectos técnicos como en los legislativos y administrativos, el país está en una posición ideal para el manejo eficaz de sus recursos hidráulicos.

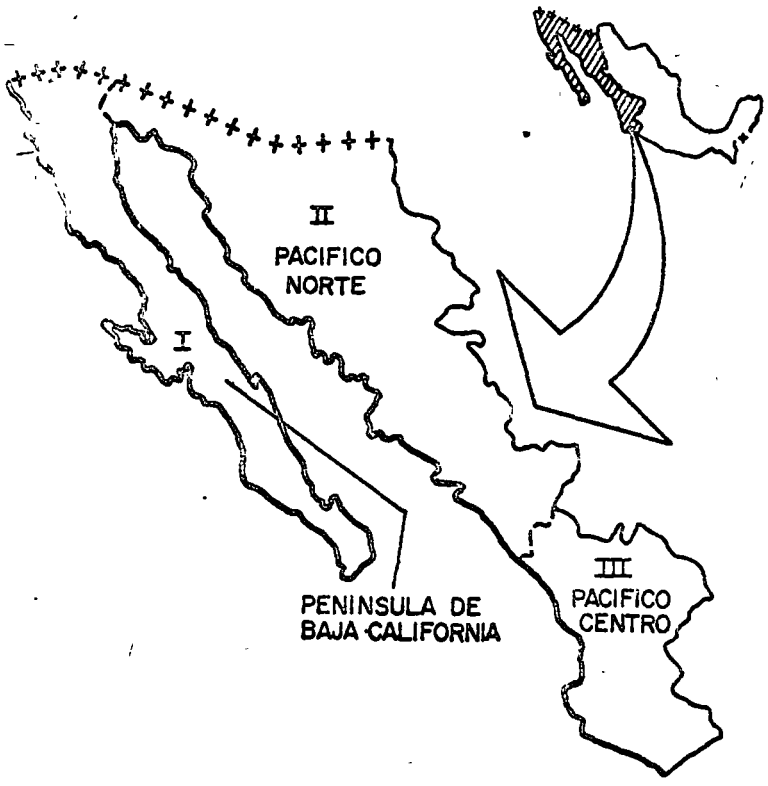
IV. Problemática regional

Los aspectos socioeconómicos nacionales y regionales permiten identificar objetivos, políticas y metas de desarrollo que, junto con otros factores técnicos, determinan la demanda de agua. La disponibilidad regional de los recursos hidráulicos en forma de precipitación, escurrimiento superficial y almacenamiento y flujo subterráneo, se comparan con la demanda y se calculan los balances regionales y se identifican problemas derivados de la escasez de agua y de su falta de control o inadecuada calidad.

Las 13 regiones en que se dividió al país tomaron en cuenta cuencas hidrográficas ya que éstas tienen en cuenta diversos grupos usuarios permitiendo considerar en forma integral los efectos originados por las acciones de manejo del agua. Estas regiones se agruparon en cuatro zonas, cada una de las cuales abarca extensiones con características similares o vinculadas a través del uso del agua.

A continuación se mencionan los aspectos y las estrategias principales con respecto al agua, para cada una de las cuatro zonas:

ZONA PACIFICO NORTE Y CENTRO.



Zona Pacífico Norte y Centro

En la región Noroeste existen 1.5 millones de hectáreas de alta potencialidad agrícola aún sin explotar por falta de agua, recurso que existe en abundancia en la región Pacífico Centro. Hacia esta zona se canalizaron en el pasado las mayores inversiones en riego, y se prevé, que las áreas con infraestructura hidroagrícola pueden ampliarse significativamente mediante transferencia de agua entre cuencas para que hacia fines de siglo se esté aprovechando la totalidad de los suelos actualmente ociosos. Se contempla también incrementar la eficiencia en el riego, la cual muestra ya en la actualidad una tendencia creciente de manera que todas estas acciones contribuyan a controlar la explotación excesiva de las aguas subterráneas de la zona, las cuales, proporcionan el 30% del volumen requerido para la agricultura.

El incremento de la población esperado, hace necesario que además de la agricultura se impulse a los sectores industrial, especialmente la agroindustria, y de servicios para poder satisfacer la demanda futura de empleo. A partir de 1970, la acuacultura en aguas dulces y salobres ha recibido un fuerte impulso y contribuirá a generar empleos y a producir alimentos e insumos para la industria.

ZONA NORTE

Presenta en su mayor parte un clima árido y extremoso, con las precipitaciones más bajas del país, y por consiguiente, con un reducido escurrimiento superficial.

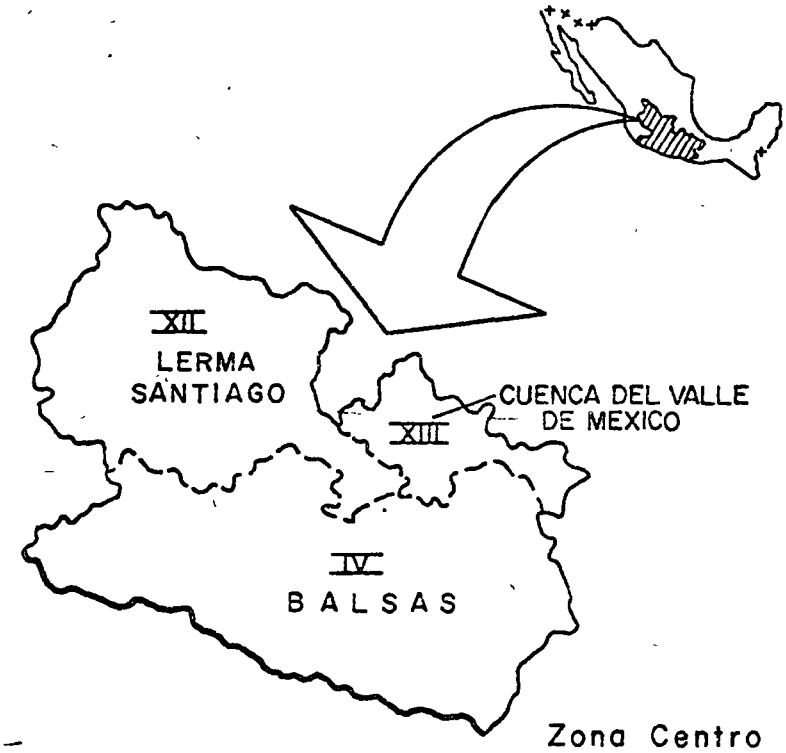
Por la escasez de agua, el crecimiento de las superficies bajo riego se ha estancada; y no se consideran para el futuro grandes aprovechamientos hidroagrícolas. Además, el agua se usa con baja eficiencia, sobre todo en la agricultura. El sector industrial absorbe el crecimiento de la fuerza de trabajo cada vez en mayor medida, pero la expansión de la industria está limitada por el costo de abastecimiento del agua.

Zona Norte

Para esta zona se plantea un crecimiento selectivo con aumentos en la productividad y con un uso más eficiente del agua mediante el reuso y la recirculación de la misma. Las aguas subterráneas serán la principal fuente de abastecimiento para los grandes centros urbano-industriales, excepto del río Bravo, y cuyo crecimiento futuro afectará las áreas irrigadas que actualmente aprovechan las aguas del mismo río.

ZONA CENTRO

El clima atractivo ha contribuido a la concentración desmedida de la población y de la actividad económica, sobre todo en el área metropolitana de las ciudades de México y Guadalajara. La zona presenta una fuerte desigualdad de ingresos entre las áreas urbanas y rurales.



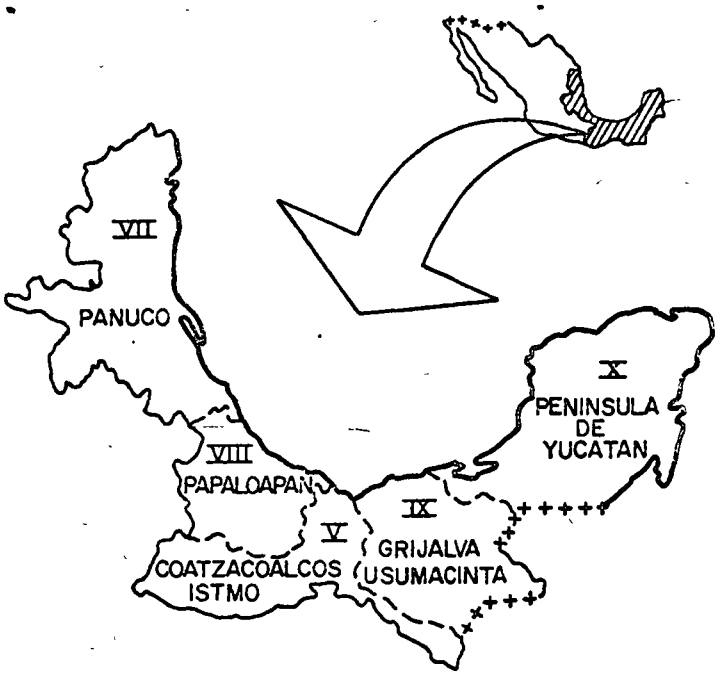
Zona Centro

En la Zona Centro más del 80% del escurrimiento se genera en la región Balsas, donde, por su accidentada topografía, no es posible realizar nuevos aprovechamientos hidroagrícolas de grande irrigación, siendo de primera importancia el programa de Obras Hidráulicas para el desarrollo rural. En cambio en las regiones Lerma y Valle de México, el uso intensivo del agua ha originado conflictos debido a que la disponibilidad del recurso no es suficiente para satisfacer las demandas de todos los usos, hecho que se agrava por la creciente contaminación de las corrientes fluviales y por el derroche y pérdida del líquido en los sistemas. Las fuentes locales de abastecimiento de agua en el Valle de México se agotarán hacia 1980, por lo que será necesario efectuar transferencias de agua desde cuencas cada vez más lejanas, a un alto costo.

ZONA GOLFO Y SURESTE

Concentra las mayores reservas de agua, suelos y energéticos de todo el país. Tiene una escasa infraestructura hidroagrícola y una producción - basada casi totalmente en área de temporal.

Se han localizado 3.6 millones de hectáreas con suelos de alto potencial agropecuario aún sin explotar en forma intensiva, ubicados principalmente en la planicie costera del Golfo de México, que se prevén aprovechar en su totalidad durante los próximos 25 años. Los aprovechamientos hidroagrícolas se enfrentan a problemas sociales y ecológicos particulares del trópico húmedo.



Zona Golfo y Sureste

Se han iniciado proyectos piloto como primera etapa a cubrir en cada uno de los grandes proyectos hidroagrícolas con el fin de probar a escala reducida pero realista, tanto la organización social, productiva e institucional, como las tecnologías más adecuadas para el desarrollo de las grandes áreas.

A diferencia de la zona Pacífico Norte y Centro, donde el motor de desarrollo hidroagrícola ha sido el riego, en la zona Golfo y Sureste se contempla una estrategia basada fundamentalmente en el drenaje.

En esta zona se realizarán los mayores desarrollos hidroeléctricos y acuícolas del país, integrado en obras construidas con propósitos múltiples: generación de energía, control de avenidas y riego suplementario.

Las consideraciones anteriores aunadas a la ya importante red de comunicaciones, y al descubrimiento de nuevos yacimientos petrolíferos, favorecen un importante crecimiento de la actividad industrial de la zona así como la apertura de nuevos centros de trabajo, impulsados también por los futuros desarrollos turísticos del Caribe Mexicano.

V. Aplicaciones al Plan Nacional Hidráulico

a). Modelos

El análisis de sistemas puede ser definido como un estudio analítico que ayuda a la toma de decisiones para identificar y seleccionar un curso de acción entre varias alternativas factibles.

Básicamente, el análisis de sistemas es una técnica para resolver problemas donde se intenta construir una réplica de un sistema o de una situación del mundo real, con el objetivo de experimentar con este modelo y obtener una visión más profunda del problema en el mundo real. Sin embargo, en muchos casos de la planeación y el manejo de los recursos hidráulicos, se desconocen todos los factores que afectan el sistema, o si son conocidos, a menudo no pueden ser evaluados o cuantificados, siendo el modelo resultante una aproximación a la situación real, pero que puede ser suficiente para propósitos prácticos.

En general y para el análisis del aprovechamiento de los recursos hidráulicos, los modelos pueden ser divididos en dos categorías : modelos de programación y modelos descriptivos, dependiendo de las relaciones del modelo con el problema a resolver. Los modelos de programación, dada una función objetivo, intentan derivar una política óptima. Los modelos descriptivos, por otra parte, intentan predecir posibles consecuencias futuras debidas a un conjunto de variables exógenas supuestas y a políticas alternativas.

Teóricamente, los administradores de los recursos hidráulicos deberían encontrar más útiles a los modelos de programación para la toma de decisiones, ya que permiten obtener políticas óptimas directa o indirectamente. Sin embargo, los modelos de programación son válidos para sistemas más bien simplificados los cuales pueden suponer, por ejemplo, linearidad en sus relaciones funcionales.

Especialmente en el campo del manejo de los recursos hidráulicos , a menudo no es posible definir funciones objetivo, debido a la existencia de muchos temas conceptuales y empíricos asociados en la construcción de una función de bienestar social. Algunos ejemplos para modelar con esta restricción podrían ser los modelos de programación lineal para el manejo de la calidad del agua, los modelos de programación interregional de Henderson (8) y Stevens (9), y el modelo lineal de inversión interregional de Rahman (10).

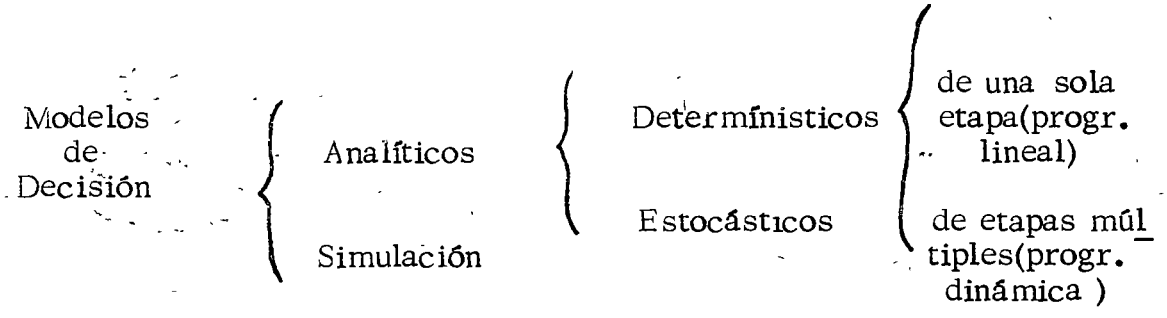
Los modelos descriptivos o predictivos no necesitan funciones objetivo definidas ya que ellos no se relacionan directamente con los objetivos. Este tipo de modelos predicen los valores de las variables endógenas para un conjunto dado de las variables exógenas. Las variables exógenas son escogidas por el que formula el modelo o por el que toma las decisiones y son llamadas variables de control o políticas. Si se supone que las consecuencias futuras

son función de las variables de control, el que toma las decisiones puede seleccionar una política "óptima" cambiando las variables de control, lo cual dará predicciones condicionales de estados futuros.

El modelo predictivo es inferior en el sentido de que cada alternativa examinada debe ser escogida subjetivamente por las personas que formulan el modelo y, por lo tanto, no puede ser eliminada la oportunidad de omitir una alternativa significativa. Sin embargo, es superior en muchos sentidos: el estado futuro puede ser descrito en mucho mayor detalle y puede ser evaluado en forma diferente para diferentes preferencias, además, el modelo puede ser usado para probar la sensibilidad de la respuesta para cualquier variable de decisión en particular (11).

A los modelos predictivos también se les denomina modelos de decisión (1) y se le puede clasificar en dos amplias categorías : a) modelos analíticos que son aquellos en que se puede escribir fórmulas analíticas del fenómeno bajo consideración y b) modelos de simulación. La diferencia más importante entre estas dos categorías es que los modelos analíticos pueden conducir a soluciones óptimas teóricas, mientras que los modelos de simulación llevan solamente a óptimos relativos sin indicar qué tan cerca o lejos se puede estar del óptimo verdadero.

Los modelos de decisión también pueden ser clasificados de otras maneras : determinísticos o estocásticos; de una sola etapa o de etapas múltiples. Una representación esquemática de esta taxonomía de los modelos de decisión se ilustra en la figura :



La simulación puede incluir los aspectos estocásticos del fenómeno, así como cubrir varias etapas. Similarmente, tanto la programación lineal como la dinámica pueden manejar elementos estocásticos, mientras que la programación lineal puede ser extendida a cubrir más de una etapa.

A continuación se mencionarán los aspectos teóricos y las aplicaciones directas de diversos modelos de decisión específicamente a problemas de nuestro país. Para no hacer repetitivos los conceptos fundamentales de las técnicas, puesto que ya se presentaron anteriormente, se darán por vistas, haciendo hincapié exclusivamente en el aspecto teórico del problema atacado y en la aplicación directa.

b). Agua para Riego (12)

Las decisiones sobre los recursos hidráulicos relativas al uso agrícola del agua tienen que ver con la cantidad y el tiempo en que el agua de riego se proporcione para obtener el impacto más favorable en el uso del agua. Estos impactos están relacionados con aspectos del manejo agrícola en las cuales deben intervenir también los ingenieros en recursos hidráulicos, corriéndose el peligro de que esta bifurcación, si no se cubre adecuadamente, deje campos científicos de interrelación sin investigar. Anteriormente, las decisiones sobre recursos hidráulicos y las agronómicas estuvieron basadas en el supuesto de que el agua sólo se tenía que entregar, por un lado, y que el agua siempre estaba disponible, por el otro (2).

Las relaciones de la productividad entre el agua y la producción no son simples. Se involucran un gran número de variables que aparte de influir en la producción, presentan un alto grado de dificultad en su control, tales como la composición del suelo, salinidad del suelo, pH, humedad relativa, velocidad del viento, clima, textura, cultivo, etc. Sin embargo, las decisiones que se tienen que hacer tienen que ver en forma primera con las cantidades y tiempos de entrega, así como una estimación razonable de las consecuencias.

Los modelos elaborados a la fecha incluyen el estudio de las relaciones agua-planta-suelo, de los tiempos óptimos de riego, del manejo conjunto de fuentes superficiales y subterráneas, y un número elevado de modelos determinísticos y estocásticos de asignación.

Un esfuerzo significativo realizado en México para el estudio del manejo de los recursos disponibles de agua y suelo, es el realizado por la Comisión del Plan Nacional Hidráulico del modelo de programación lineal que permite analizar el impacto a nivel nacional de cada uno de los programas hidroagrícolas regionales alternativos planteados.

En el modelo planteado, no es la cantidad de tierra a poner bajo producción lo que se considere más importante, sino una evaluación relativa de la situación de las actuales tierras bajo riego y el manejo de las variables exógenas para el planteamiento de diversas alternativas tecnológicas, económicas y sociales.

En forma simplificada el modelo es el siguiente:

i = distrito o región
j = cultivo
t = año

Función objetivo

$$\max Z^t = \sum_j \left[PN_j^t \sum_i \frac{R_{ij}^t P_{ij}^t}{PN_j^t} X_{ij}^t - CN_j^t \sum \frac{f_{ij}^t C_{ij}^t}{CN_j^t} X_{ij}^t \right]$$

% de los costos de producción que no forman parte del valor agregado (maquinaria, fertilizantes, seguro, impuestos, etc).

si $0 < f_{ij}^t < 1$ se maximiza valor agregado

$f_{ij}^t = CN_j^t = 0$ se maximiza el valor de la producción

$f_{ij}^t = 1$ se maximiza ingreso.

Sujeto a las siguientes restricciones:

- a nivel de distrito de riego i, tierra

$$\sum_j t_{il_j}^t X_{il_j}^t \leq DT_{il}^t \qquad \forall i, l$$

($t_{il_j}^t$: coef. de ocupación mes l; DT_{il}^t: Máxima superf. regada)

- a nivel de distrito de riego i, agua

$$\sum_j a_{il_j}^t X_{ij}^t \leq DA_i^t \,, \forall i$$

($a_{il_j}^t$: lámina; DA_i^t: volumen medio anual)

$$\sum_j a_{il_j}^t X_{il_j}^\tau \leq CB_{il}^t$$

($a_{il_j}^t$: lámina; CB_{il}^t: capacidad de bombeo)

- a nivel nacional, producción

$$\sum_i R_{ij}^t X_{ij}^t \geq LI_j^t \,, \forall j$$

(R_{ij}^t: rendimiento; LI_j^t: límite inferior de producción de j.)

$$\sum_i R_{ij}^t X_{ij}^t \leq LS_j^t \,, \forall j$$

(LS_j^t: límite superior de producción de j.)

Valor de la producción

$$PN_j^t \sum R_{ij}^t \frac{P_{ij}^t}{PN_j^t} X_{ij}^t - 1 \geq 0$$

Costos de producción

$$CN_j^t \sum_i f_{ij}^t \frac{C_{ij}^t}{CN_j^t} X_{ij}^t - 1 \leq 0$$

Para la implantación del programa se utilizan 22 distritos de riego y en base a los patrones de cultivo reportados se obtuvieron los cultivos por considerar. Los coeficientes técnicos de uso del suelo se definieron en función del porcentaje de superficie que cada cultivo va ocupando dentro de cada unidad de producción desde que se inicia la siembra hasta que finaliza la cosecha. Los coeficientes técnicos para uso del agua fueron las láminas brutas medias o a pie de presa. Los rendimientos físicos para cada cultivo se obtuvieron mediante las proyecciones de rendimientos físicos (15).

Para la formación de los coeficientes técnicos para la función objetivo se basa, por una parte en el cálculo del valor de la producción a nivel nacional y de cultivo y por la otra, en la determinación de los costos de producción también a nivel nacional y por cultivo.

Las restricciones de suelo fueron determinadas multiplicando a las máximas superficies regadas en el período 1962-1972 de cada unidad por el porcentaje que resultó de dividir las superficies cosechadas de los cultivos considerados entre la superficie total de la unidad productora correspondiente.

Para obtener las restricciones de agua se supuso que el volumen usado por los cultivos es proporcional al % de utilización del suelo.

Las cantidades mínimas o máximas de cada producto considerado en el modelo que se desean producir en Distritos de Riego, se pueden fijar a través de los límites inferiores y superiores de producción. Dichas cantidades pueden ser definidas a nivel nacional en función de la o las políticas de producción deseadas.

Los resultados obtenidos se han dividido en relativos a:

1. Precios sombra del agua y del suelo (figura 5)
2. Distribución de la producción
3. Costos de sustitución
4. Producción por cultivos a nivel nacional.

En la figura se muestran los precios sombra del agua y del suelo maximizando valor agregado para 1975, considerando límites de producción a nivel nacional y de cultivo.

Para más detalle en los resultados se recomienda consultar la referencia (12).

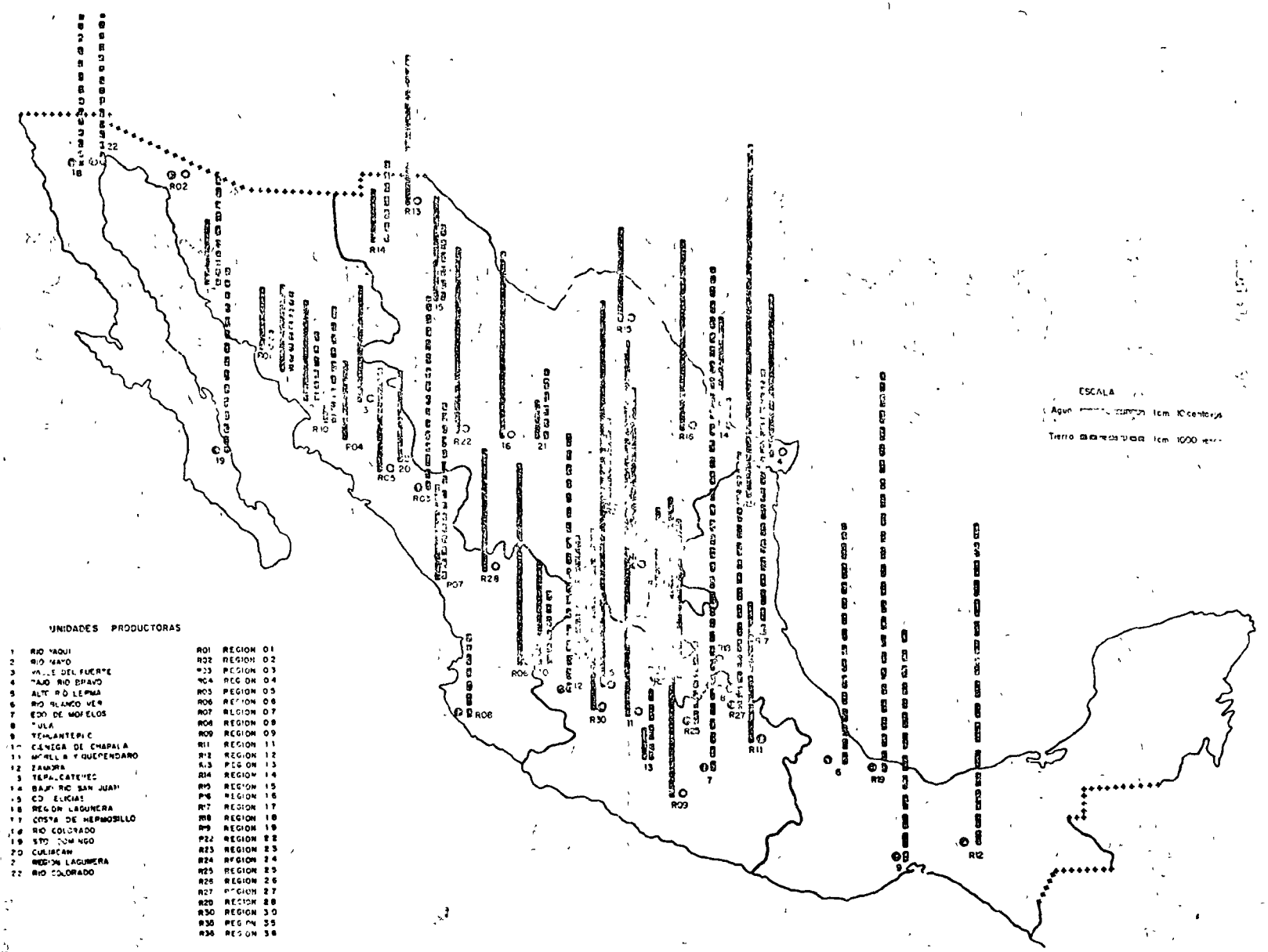


Fig. 5. PRECIOS SOMBRA DEL AGUA Y DEL SUELO MAXIMIZANDO VALOR AGREGADO PARA 1975, CONSIDERANDO LIMITES DE PRODUCCION A NIVEL NACIONAL Y DE CULTIVO

c). Modelo de Simulación Hidrológica del Río Bravo (13)

i). Objetivo del modelo

La zona norte del país se caracteriza por la escasez de agua aprovechable; por ello, mejorar la eficiencia en la operación de los sistemas hidráulicos cobra una importancia primordial, ya que ha de permitir ahorrar volúmenes de agua susceptibles para ser usados para el desarrollo de centros de demanda donde el principal problema es la falta de agua.

En la cuenca del río Bravo se tienen actualmente los aprovechamientos hidráulicos suficientes que utilizan la disponibilidad de agua superficial casi en su totalidad y para tener un mejor conocimiento de los efectos que puede tener el funcionamiento hidrológico de la cuenca, fue necesario elaborar un modelo que simulara de manera integrada toda la cuenca del río Bravo. Dicho modelo permite conocer los efectos que ocasiona en el sistema la inclusión de un nuevo aprovechamiento hidráulico o de un conjunto de ellos, y por lo tanto, hacer una mejor evaluación de estos.

Localización de la cuenca del río Bravo.

La cuenca del río Bravo (fig. 6), ubicada en el Norte de México y Sur de Estados Unidos, tiene una extensión de 472,000 - Km^2, de los cuales - 241,500 corresponden a México y los restantes 230,500 a los Estados Unidos.

En la cuenca corren importantes afluentes; en el área mexicana, los principales son los ríos Conchos, San Juan y Salado, y en la - norteamericana, los ríos Pecos y Devil's.

En esta cuenca predomina el clima semidesértico con precipitación

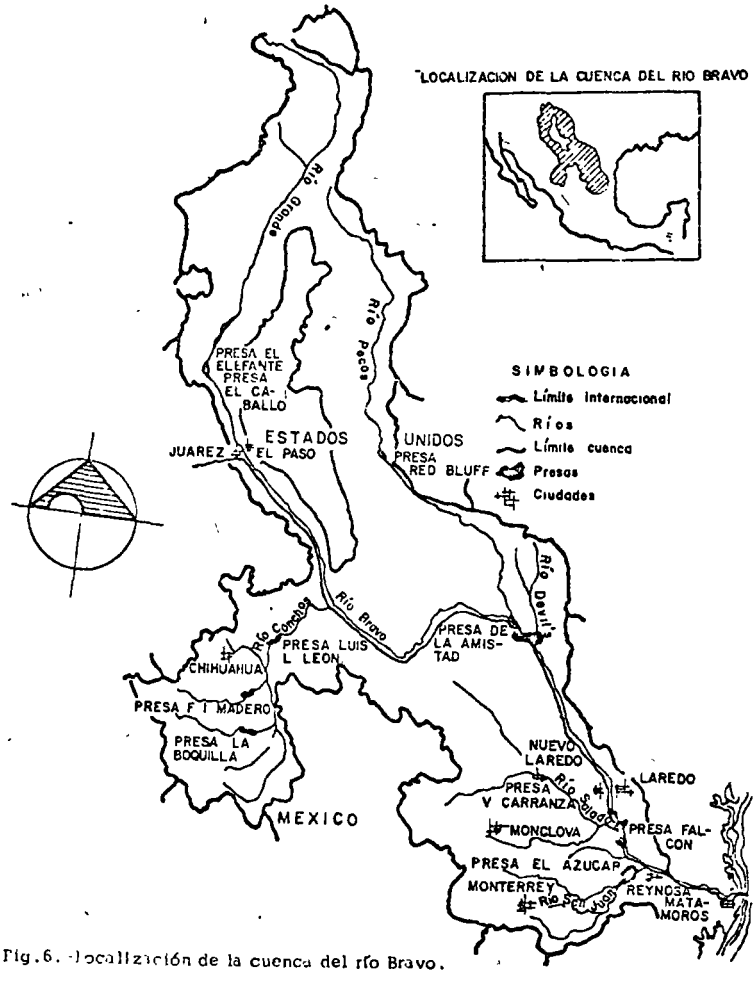


Fig. 6. Localización de la cuenca del río Bravo.

media que oscilan entre los 900 mm. en la Sierra Madre Oriental, y los 200 en las zonas desérticas de Chihuahua, Coahuila, Nuevo México y Texas. En más del 80% de la superficie de la cuenca, la precipitación anual promedio es menor de 400 mm. Las precipitaciones más intensas en la zona son provocadas por la acción directa o indirecta de los ciclones que se generan o que atraviesan el Golfo de México. El régimen de lluvias dominante en la cuenca ha hecho necesario para lograr el aprovechamiento y control de las aguas, desarrollar gran cantidad de almacenamientos superficiales, entre los cuales destacan por su tamaño las presas La Amistad, Falcón, El Elefante, La Boquilla y El Azucar; además de estos existen aprovechamientos subterráneos como los acuíferos de Jiménez, Monterrey, Camargo, Delicias, Bajo Bravo y Valle de Juárez en la porción mexicana, ver figura 7 .

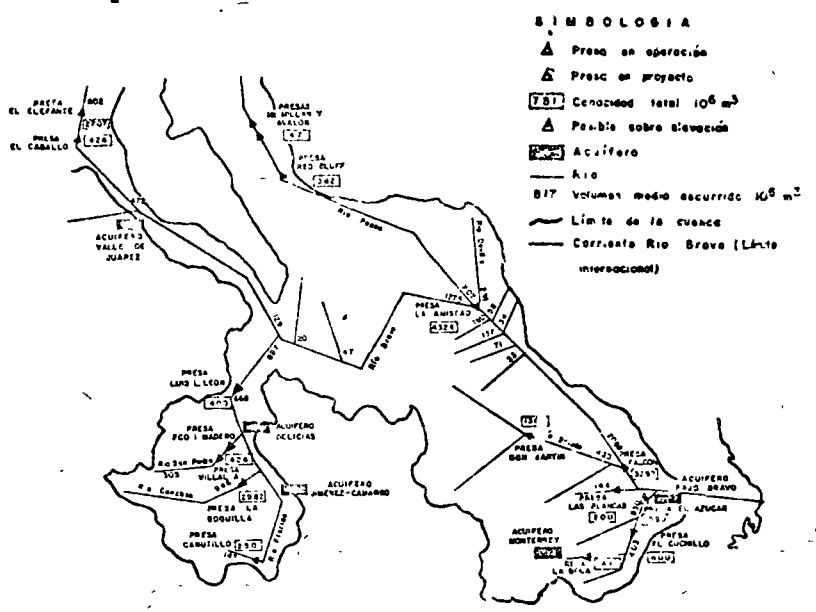


Fig.7.- Principales almacenamientos en la cuenca del río Bravo.

En la porción norteamericana del río Bravo, los principales centros de demanda son: zona de riego aguas abajo de la presa El Caballo, la planta de generación de energía hidroeléctrica Maverick, el distrito de riego Maverick, la planta generadora de energía Falcón y la zona de riego del Valle del río Grande. En el área mexicana,

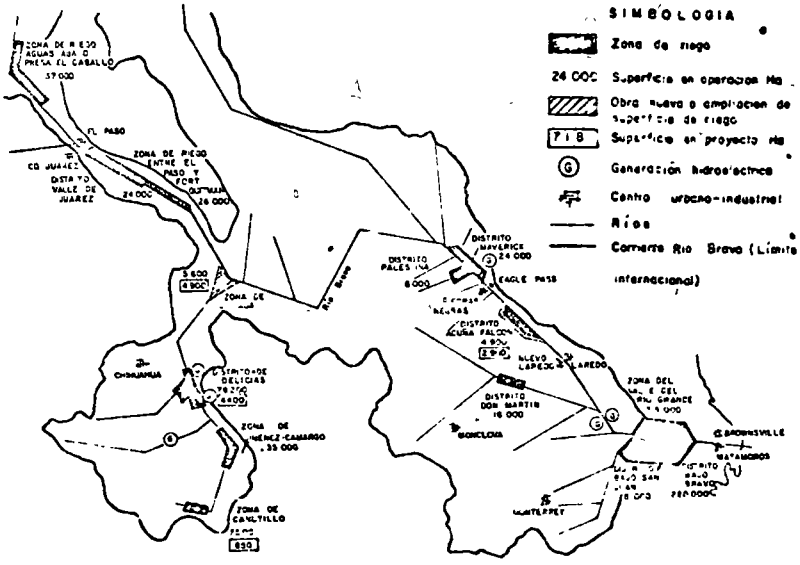


Fig.8.- Principales centros de demanda de la cuenca del río Bravo.

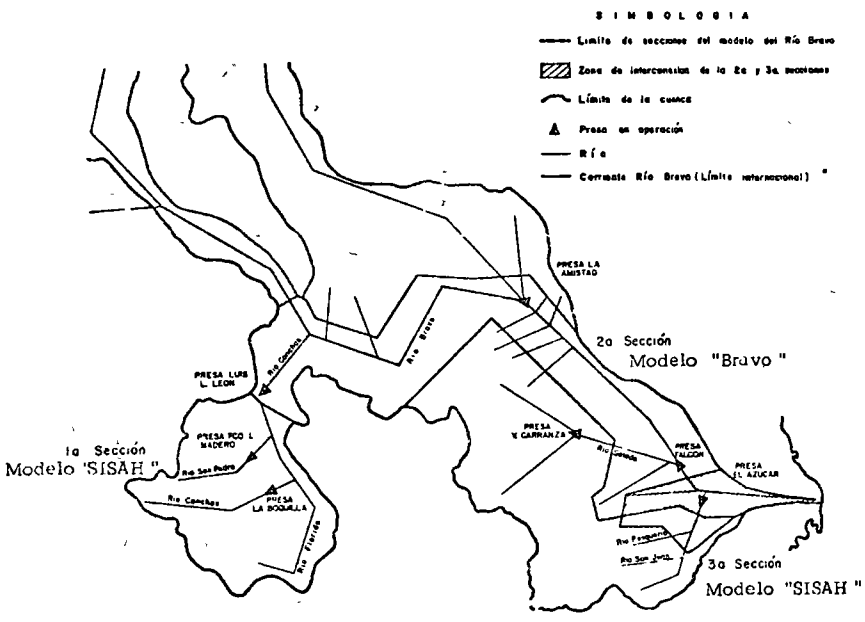


Fig.9.- Secciones en las que se dividió el modelo del río Bravo.

los principales centros de demanda son las plantas de generación de la Boquilla, Rosetilla y Falcón y los distritos de riego Acuña-Falcón, Don Martín, del Bajo Río San Juan, del Bajo río Bravo y de Delicias, ver figura 8 .

ii). Estructura del modelo

Para poder simular el modelo del río Bravo, se utilizan dos programas de computadora: el primero es el "SISAH" (modelo basado en el modelo PLHINO desarrollado por la Dirección de Estudios Especiales, SRH, 1972), el cual es un modelo general que puede ser aplicado a cualquier sistema de aprovechamientos hidráulicos y el segundo programa es el modelo desarrollado por Aerofoto, S.A., para la SRH(1967), el cual fue diseñado para usarse en una porción del río Bravo donde tiene efecto el tratado internacional.

El modelo del río Bravo se dividió en tres secciones - (fig. 9), de los cuales la primera y tercera sección se simulan con el segundo - programa, es decir la sección del alto y medio río Conchos es la que simula primero; sus salidas son una de las entradas a la Segunda sección. La tercera cuando es necesario se simula en segundo lugar; las salidas de este sub-

Centro de Demanda / Alternativa	Canutillo	Delicias	Ojinaga	Acuña-Falcón	Bajo Bravo	Bajo San Juan
1	66	1200	50	50	1140	550
2	84	1700	152	50	1570	661
3	84	1700	152	50	1540	661
4	84	1700	107	50	1570	661
5	84	1700	152	80	1540	661
6	84	1200	152	50	1570	661

NOTA.- Los volúmenes demandados estan expresados en millones de metros cúbicos.

Cuadro 3.- Comparación de las seis alternativas analizadas.

sistema y de la primera sección se utilizan como entradas a la segunda sección que es la que se simula al último.

Calibración

Para calibrar el modelo del río Bravo se utilizan las demandas históricas de los años 1955 a 1972. Se prestó especial atención al período de 1968-1972 por considerar que estos años serán más representativos de la situación actual.

Para comparar los resultados que aportó el modelo con la información histórica, se eligieron por la confiabilidad de los datos, los vasos Francisco I. Madero, La Boquilla, Luis L. León, La Amistad, Falcón y el Azúcar; se eligió también la estación de aforo Las Burras. En general, los resultados de la calibración del modelo siguen la tendencia que mostraron los datos históricos, pero en los vasos La Amistad y Luis L. León se observaron algunas discrepancias debido en el caso de esta última, a que su función principal es el control de avenidas, en tanto que para la Presa La Amistad se explica porque en el año 1972 la distribución de la demanda fue sensiblemente diferente a la de años anteriores.

Se estimó que a partir de 1944, los datos cumplen con esta condición el período se alargó hasta 1972. Es decir se tiene 29 años completos para la simulación.

PRESA [1]	Fco I Madero	La Boquilla	Canutillo [2]	Luis I. León	El Azucar
Capacidad total	424	2982	250.	400	109 [4]
Capacidad muerta	19	69	4	40	7
Capacidad útil	212	1460	125	200	561

PRESA [1] Capacidad total	La Amistad	Falcón
	4324	3292
	2430	1929
	1894	1365
	84	20
	47	12
	37	8
	2200	1750
	1100	875
	1100	875

ACUIFERO [1]	Delicias [4]	Jiménez Camargo	Bajo Bravo
Recarga [3]	492	550	140

1/ Datos considerados en todas las alternativas
2/ En la alternativa 1 se considera a presa
3/ Datos estimados en los estudios de factibilidad
4/ En las alternativas 1 y 6 la recarga se considera de 240 millones de metros cúbicos

NOTA.- Los volúmenes se consideran en millones de m^3

Cuadro 4.- Características físicas de los aprovechamientos considerados en el modelo del río Bravo.

Alternativas

Se simularon seis alternativas correspondientes la primera de ellas a las condiciones actuales. Las cinco restantes fueron modificaciones a la primera.

En el cuadro 3, se indican las alternativas y en el cuadro 4 se especifican las características de los aprovechamientos que incluye cada una de estas.

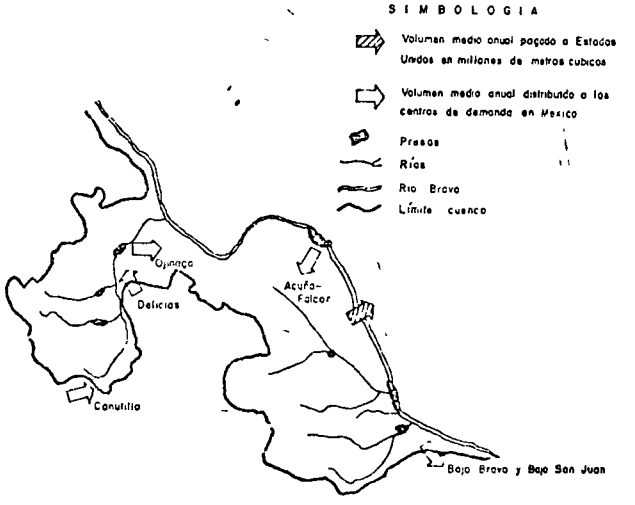
De cada una de las alternativas se obtuvieron resultados en donde

para cada proyecto se presente el déficit promedio y el déficit máximo del volumen que se demanda en un año. En el cuadro 5 se presenta el resultado de la consideración del tratado de aguas internacionales con todas las alternativas. Las alternativas se probaron desde el punto de vista hidrológico y se consideró como alternativa hidrológicamente factible cuando la deficiencia promedio anual en cada centro de demanda fuera de 5% aproximadamente, como máximo. Con este criterio, cuatro de las alternativas fueron hidrológicamente factibles (fig.10); incluye las superficies regadas y los volúmenes aprovechados.

Alternativa	1	2	3	4	5	6
Volumen total pagado $10^6 m^3$	14624	13903	13897	14099	13897	14291
% extraído de las presas	0 3	13 7	13 6	11 8	13 6	9 7
Volumen promedio anual $10^6 m^3$	504	479	479	486	479	493
No. de ciclos de adeudo [1]	0	0	0	0	0	0

1/ Se consideran aquellos ciclos en que no se cubrió la cuota

Cuadro 5.- Volúmenes pagados a Estados Unidos en cada alternativa utilizada



Alternativa		Conchillo	Delicias	Ojinaga	Acuña Falcon	Bajo Bravo y Bajo San Juan	Total	Vol pagado a E U A	Beneficio costo	$/m³
1	Vol $10^6 m^3$	57	1 110	50	50	1 687	2954	504	——	0 54
	Sup Ha	5 500	94 000	4 600	4 900	324 000	432000			
3	Vol $10^6 m^3$	84	1 637	142	50	2 090	4013	479	1 53	0 74
	Sup Ha	8 200	11 000	400	4 900	324 500	469150			
4	Vol $10^6 m^3$	84	1 637	107	50	2 134	4012	486	1 52	0 74
	Sup Ha	8 200	11 000	400	4 900	329 500	469000			
6	Vol $10^6 m^3$	84	1 110	152	50	2 149	3545	493	1 34	0 75
	Sup Ha	8 200	94 000	15 400	4 900	329 500	477100			

Fig 10 Resumen de resultados de las alternativas hidrológicamente factibles.

iii). Operación del modelo

Operativamente, el sistema de aprovechamiento del río Bravo se dividió en tres secciones. La primera corresponde a la parte alta y media del río Conchos. La segunda es la del bajo río Conchos, bajo río San Juan, río Alamo y medio y bajo río Bravo, y la tercera la de los ríos San ríos San Juan, Alamo y bajo río Bravo. Las dos últimas secciones se encuentran interconectadas en la parte del bajo río Bravo, por lo que su operación no es independiente. El diagrama de funcionamiento para cada una de las secciones se presenta en las --

figuras 11 a 13.

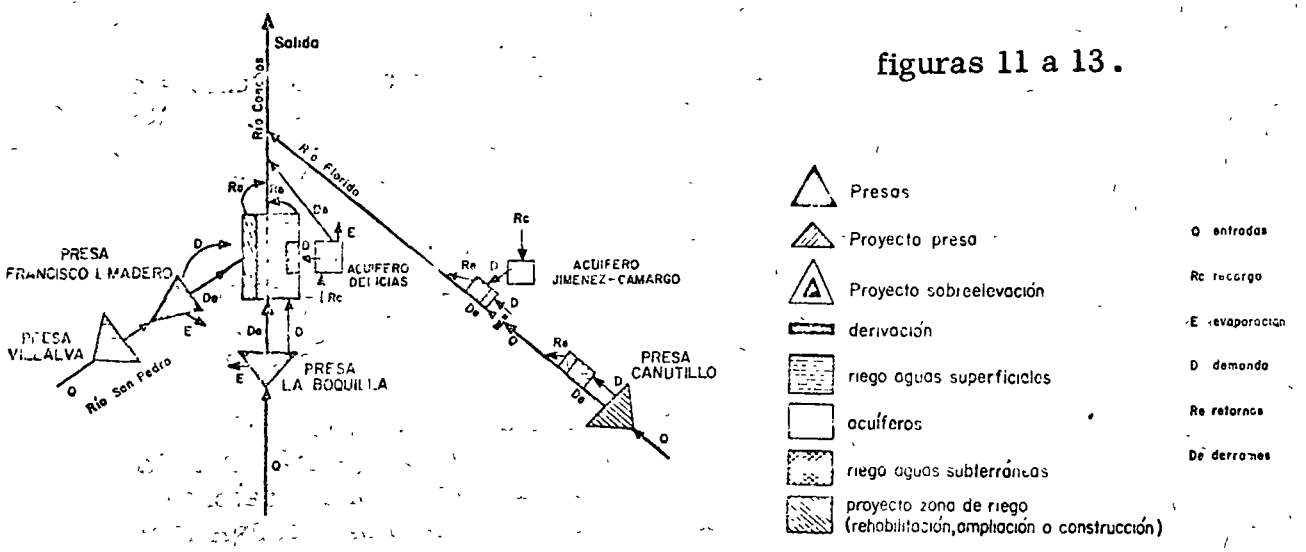


Fig.11.- Diagrama de funcionamiento de la primera sección.

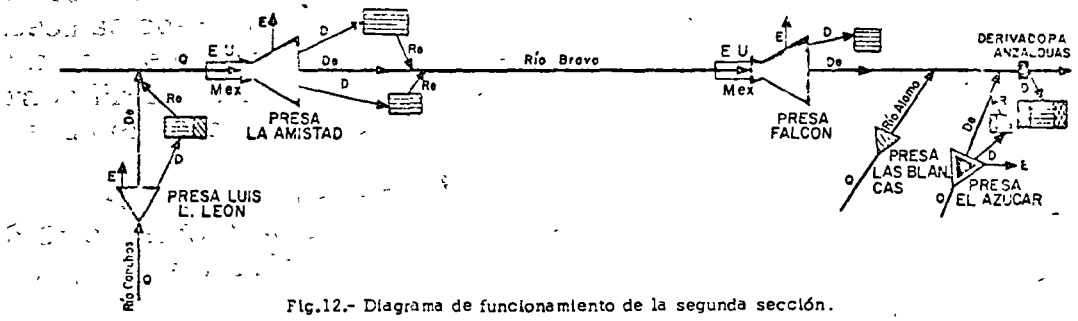


Fig.12.- Diagrama de funcionamiento de la segunda sección.

De la parte de la cuenca que corresponde a E.E.U.U., sólo se incluyeron en el modelo los vasos internacionales con sus respectivas entradas y demandas. De la porción mexicana, se excluyó del modelo: a) la parte del río Bravo aguas arriba de Ojinaga, ya que su operación por la escasa disponibilidad de agua, no afecta el resto de la cuenca. b) La porción de la cuenca del río Salado hasta la Presa Don Mar

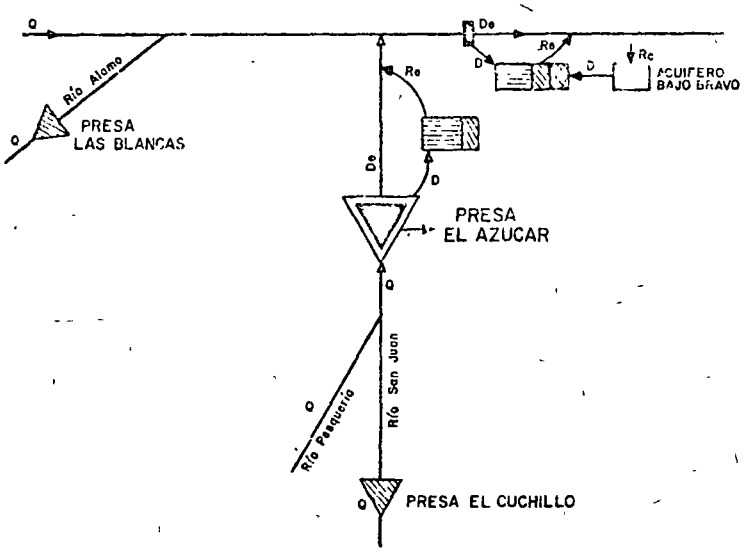


Fig.13.- Diagrama de funcionamiento de la tercera sección.

tín, pues la totalidad del escurrimiento en la cuenca es consumido en el distrito de riego.

Debido a las características de los aprovechamientos sólo se consideraron las siguientes demandas de: las zonas de riego que se alimentan de las aguas superficiales de la cuenca del Bravo o de los acuíferos Jiménez-Camargo, Delicias y Bajo Bravo, la planta hidroeléctrica Maverick y el agua potable para las ciudades de Nuevo León, Reynosa y Matamoros.

No fueron consideradas las demandas de las Obras Hidráulicas para el Desarrollo Rural, debido a que se encuentran diseminadas en toda la cuenca; se eliminaron las plantas hidroeléctricas porque su demanda está supeditada a extracciones para uso agrícola.

iv). Comentarios

El funcionamiento del sistema en condiciones actuales es factible desde el punto de vista hidrológico.

Se considera que los patrones de cultivo propuestos en el estudio de factibilidad de los distritos de Bajo Bravo y Bajo San Juan, no son adecuados; es necesario disminuir la superficie de algodón, para ampliar la de cultivos que demanden menor cantidad de agua como son sorgo, maíz y frijol; por la misma razón, también habría que disminuir la superficie de alfalfa y sólo proporcionar riegos de auxilio a los pastos.

De acuerdo a un análisis que considera factores como: factibilidad hidrológica, volumen aprovechado de agua, superficie regada, mayores beneficios y menor volumen pagado a Estados Unidos, indica que la alternativa más recomendable es la número tres.

Dado que los eventos hidrológicos son de carácter aleatorio, los resultados de un análisis como el presente, hecho por el registro histórico de escurrimientos, guardan un alto grado de incertidumbre. En particular existen dudas sobre el funcionamiento del acuífero de Delicias, por lo que se recomienda un nuevo estudio geohidrológico que confirme los datos actuales o que proporcione otros más confiables.

La generación de escurrimientos sintéticos ya elaborada, permite probar el funcionamiento bajo muestras con la misma probabilidad de ocurrencia que el registro histórico.

d). Modelos de Simulación de la Cuenca Grijalva-Usumacinta (14)

i). Objetivo del modelo

En esta parte se presenta la simulación hidrológica de la cuenca -

Grijalva-Usumacinta, utilizando modelos de simulación digital para sistemas de aprovechamiento múltiple, con objeto de determinar el potencial hidroeléctrico de la cuenca y el efecto regulador de las avenidas al transitarlas por el sistema de vasos.

Estos modelos tienen como objetivo apoyar a una mejor definición, desde el punto de vista hidrológico, de los sistemas de aprovechamiento factibles de desarrollar en las cuencas Grijalva-Usumacinta y tener mejores elementos para la definición del Plan Nacional Hidráulico en una nueva iteración.

De manera general,se han trazado directrices que consisten en rescatar la mayor superficie para la agricultura y la ganadería integrando los proyectos hidroeléctricos con los proyectos hidroagrícolas. Las características físicas de la zona permiten el aprovechamiento hidráulico integral en cada cuenca mediante obras de propósito múltiple siendo los objetivos más importantes de estas obras la generación de energía hidroeléctrica, el control de avenidas, y de manera secundaria, el abastecimiento a los centros urbanos e industriales, la acuacultura y el riego suplementario.

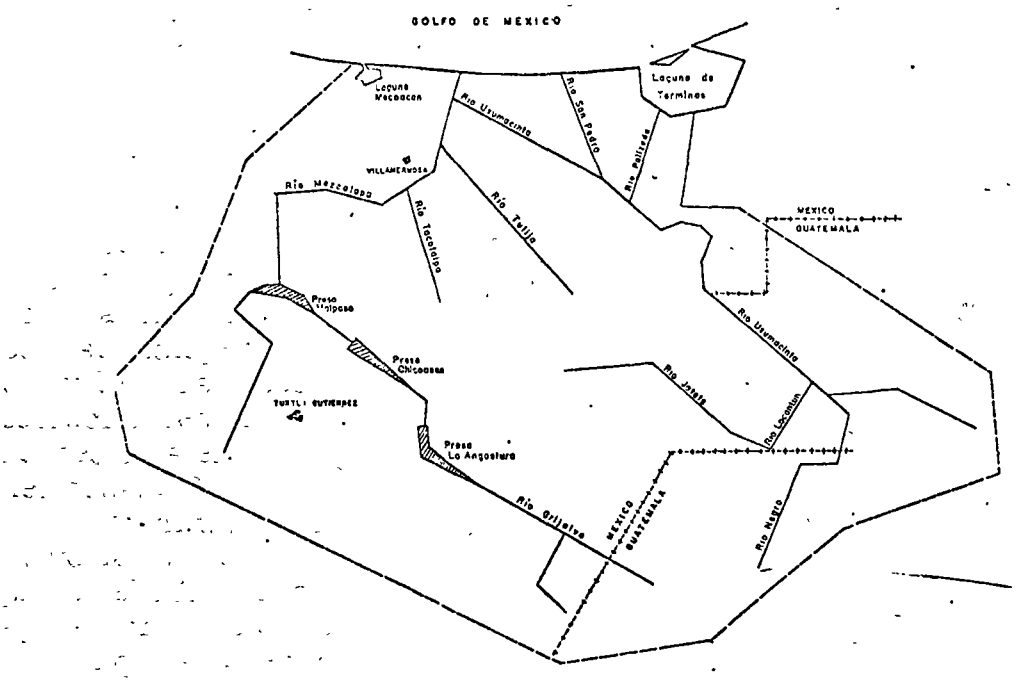


Fig.14 .-Cuenca del Río Grijalva-Usumacinta.

Se han identificado dos grandes sitemas de aprovechamientos múltiples que resultan sumamente atractivos: el Sistema Grijalva, constituido por las presas La Angostura, Malpaso, Chicoasén (en construcción)

y Peñitas (en proyecto), que deberá complementarse con las presas Itzantum y La Catarata para controlar los ríos Tacotalpa y Tulijá; y el Sistema Usumacinta para el cual se han planteado dos grandes alternativas. (fig.14).

El desarrollo hidroagrícola, de 731,000 Has. propuesto en la región Grijalva-Usumacinta; está basado exclusivamente en infraestructura de drenaje y control de inundaciones, en el que se da prioridad al desarrollo de la parte media de la planicie tabasqueña junto con el aprovechamiento de los Piamontes.

Marco Físico.- El área total de la cuenca es de 128,068 Km^2 de los cuales el 35% corresponde a Guatemala y el 65% a México, además de la división internacional, la cuenca está formada por territorio de los estados de Chiapas (45%), Oaxaca (1%) y Tabasco (19%), ver figura .

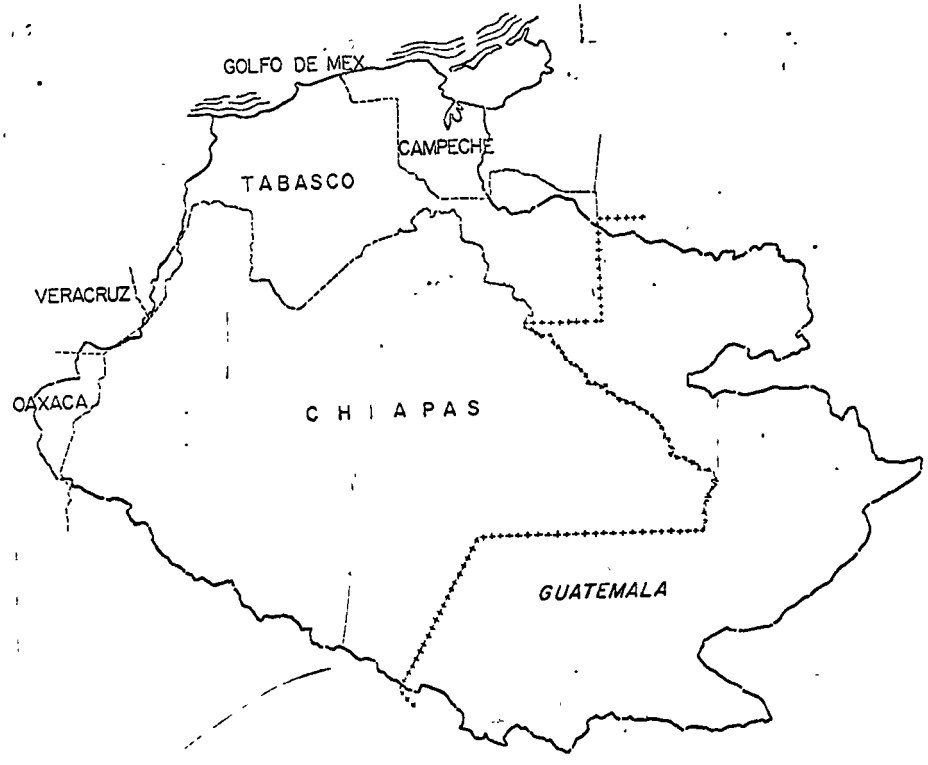


Fig. .- División internacional y estatal de la cuenca del río Grijalva-Usumacinta.

La región tiene una precipitación pluvial alta, con una media anual que por lo general excede a los 1000 mm. Algunas estaciones registran una media anual de 4,000 mm. como Teapa, Puyacatengo, Pichucalco y Escalón.

La temperatura media muestra uniformidad en toda la región con

un valor medio de 24.6 °C, no se ha registrado ningún mínimo menor de 2°C y los máximos son del orden de 48°C, lo que permite clasificar a la región como cálida sin estación invernal bien definida.

El sistema Grijalva-Usumacinta genera un escurrimiento medio anual del orden de los 95,000 millones de m^3 que corresponde al 23% del escurrimiento total de la República Mexicana. De ese volumen, 55,600 millones de m^3 corresponden al escurrimiento del río Usumacinta cuya cuenca comprende parte de México, Guatemala y Belice. Un volumen de 34,000 millones se genera en Guatemala. En resumen el escurrimiento de la cuenca es:

a)	río Grijalva hasta Peñitas	22,800 millones m^3
b)	río Usumacinta hasta B. del Cerro	55,600 millones m^3
c)	ríos Tacotalpa, Tulijá y Pichucalco	13,576 millones m^3
d)	río Grijalva después de Peñitas	3,545 millones m^3
e)	río Usumacinta después de B. del Cerro	445 millones m^3
	T O T A L :	95,966 millones m3

Alcance del estudio.- La integración de diferentes alternativas de aprovechamiento y su análisis mediante los modelos de simulación hidrológica tiene por objeto determinar con mayor precisión la disponibilidad del agua en cada proyecto, el potencial hidroeléctrico de la cuenca, la capacidad de control de los vasos y su efecto en cuanto al control de avenidas en la planicie tabasqueña. Los datos para cada una de las presas se tomaron de anteproyectos realizados por la CFE. Como entradas en el modelo de simulación se utilizaron los registros históricos de escurrimiento, precipitación y evaporación. Las avenidas de diseño y operación se calcularon mediante los parámetros obtenidos en la regionalización para gastos máximos hechos por la Comisión del Plan Nacional Hidráulico y las políticas de control de avenidas se determinaron en función de las curvas de elevación-capacidad del vaso.

ii). Modelos de Simulación para el Estudio

Se utilizaron dos modelos de simulación hidrológica:

a) Modelos de simulación de un sistema de vasos con aprovechamientos múltiples.

b) Modelo de simulación del tránsito de avenidas por un sistema de vasos.

El primer modelo determina el potencial hidroeléctrico de la cuenca para cada una de las alternativas de proyecto identificadas; con el segundo modelo se determinó el efecto regulador en cuanto a control de áve

nidas para los sistemas de vasos que definen cada alternativa, ver figura 15.

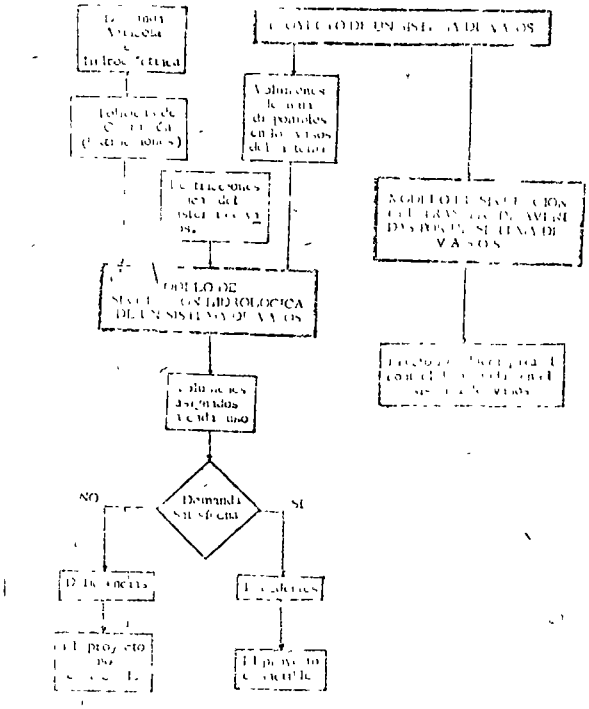


Fig. 15.- Diagrama de bloques de la operación de los modelos de simulación hidrológica.

Modelo de simulación hidrológica de un sistema de vasos.- Simular el funcionamiento de un sistema de vasos de aprovechamientos múltiples es definir el estado de almacenamiento que guardan los vasos durante cada intervalo de tiempo en el período de simulación, determinando si es posible asignar los volúmenes requeridos para satisfacer las demandas, de acuerdo con el agua disponible en los almacenamientos y las restricciones físicas del sistema. El modelo define el estado de almacenamiento que guarda el sistema después de haber realizado las extracciones que requiere la política de operación, contabiliza los volúmenes asignados para diferentes usos, las deficiencias en la satisfacción de la demanda y los excedentes, determinando si el proyecto es factible desde el punto de vista hidrológico cuando exista disponibilidad de agua en el lugar y tiempo requerido.

Funcionamiento de un vaso.- Una presa es una estructura hidráulica para almacenar y controlar el flujo de un río, cambiando su régimen de escurrimiento en el tiempo y entregando los volúmenes requeridos por los diversos aprovechamientos. Se plantea en el vaso la ecuación de continuidad: el cambio en el almacenamiento es igual a las entradas menos las salidas, figura .

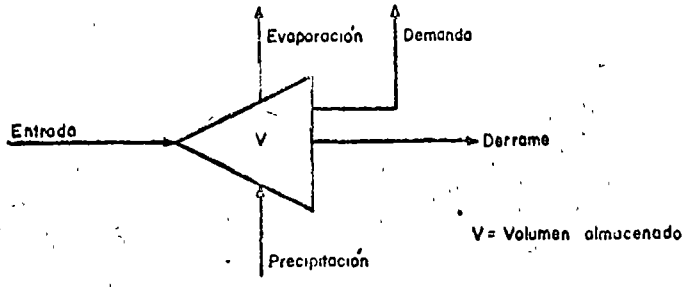


Fig. 16.-Funcionamiento de un vaso.

$$E - S = \Delta V \qquad \text{Ec. 1}$$

- ΔV: cambio en el almacenamiento
- S: salidas del vaso
- E: entradas al vaso

La ecuación 1 se plantea con las siguientes restricciones:

a). $V \leq V_{namo}$

volumen al nivel de aguas máximo ordinario

b). $V \geq V_{muerto}$

Volumen de capacidad muerta.

c). Los gastos extraídos para satisfacer las demandas, deberán ser menores que las capacidades de las tomas y obras de conducción.

Funcionamiento de un sistema de vasos.- Cuando el análisis se realiza en un sistema con varios vasos de almacenamiento, es posible satisfacer las demandas desde diversos puntos del sistema de la misma manera se pueden establecer diferentes políticas de almacenamiento con objeto de tener un mejor aprovechamiento.

La ecuación de continuidad se plantea en cada vaso e intervalo de tiempo de manera secuencial durante todo el período de simulación. En la figura 17 se muestra un esquema de un sistema de vasos.

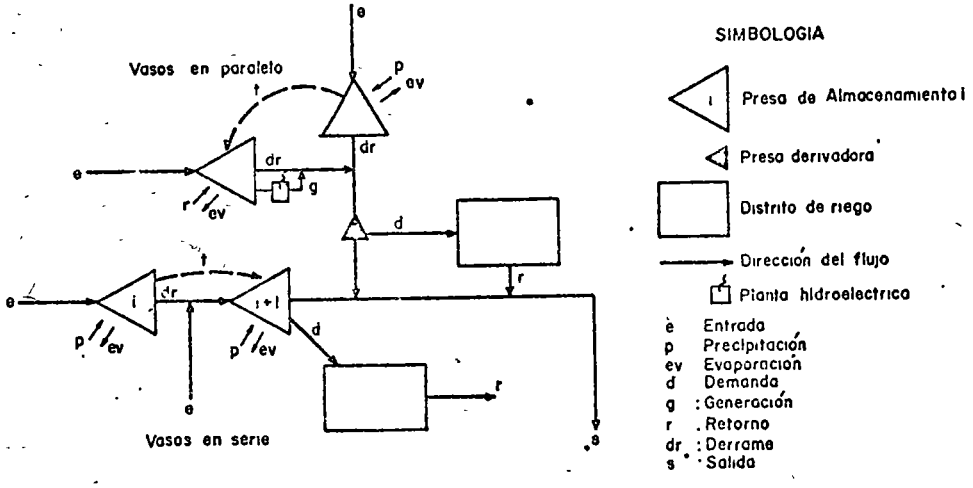


Fig. 17.- Funcionamiento de un sistema de vasos.

Siempre que es posible se asigna un volumen para satisfacer la demanda, bajo las restricciones de operación y la disponibilidad actual en el sistema de vasos. Cuando ello no es factible, el modelo contabiliza las deficiencias y cuando excede a la capacidad de almacenamiento contabiliza los derrames.

Modelo de simulación del tránsito de avenidas por un sistema de vasos.- El estudio del tránsito de avenidas por un vaso se realiza para dimensionar las obras hidráulicas y definir políticas de operación en vasos con aprovechamientos múltiples. Consiste en determinar cuál es la forma de avenida que sale del vaso y la evolución de los niveles en ésta. El efecto del vaso en la regulación de la avenida depende de la capacidad de almacenamiento para control de avenidas y de la magnitud de las estructuras de descarga.

La simulación del tránsito de avenidas consiste en resolver la ecuación de continuidad en cada vaso y cada intervalo de tiempo.

$$E - S = \frac{dV}{dT} \quad \text{Ec. 2}$$

$\frac{dV}{dT}$ ← cambio en el almacenamiento

S — salidas

E — entradas

Como no es posible resolver directamente la ecuación puesto que en un punto del tiempo solamente se conoce el gasto de entrada. Se procede, entonces a plantear la ecuación en términos finitos y considerando el promedio de gastos, ya que estos son variables con respecto al tiempo, en el tiempo t_1 y t_2 quedando:

$$2V_2 + q_2 = Q_1 + Q_2 + 2V_1 - q_1 \quad \text{Ec. 3}$$

q_1 — gasto de salida en t_1

$2V_1$ — volumen de almacenamiento en t_1

Q_2 — gasto de entrada en t_2

Q_1 — gasto de entrada en t_1

q_2 — gasto de salida en t_2

$2V_2$ — volumen de almac. en t_2

El miembro derecho (α) de la ecuación 3 está formado por términos conocidos.

Los dos términos del miembro de la izquierda (β) son desconocidos por lo que se procede a resolver la ecuación por un método de tanteos y aproximaciones sucesivas.

Tránsito de avenidas por un sistema de vasos.- Cuando se está estudiando un sistema de vasos no se puede analizar uno de los vasos aisladamente, ya que el efecto reguiador individual causa modificaciones en la hidrología del sistema.

Los tránsitos empezarán a hacerse en el vaso localizado en el origen de la corriente principal y continuarán en secuencia en los vasos localizados aguas abajo.

Sean los vasos i e i+1 mostrados en la figura 18. La avenida de entrada (A) al vaso i se transita en dicho vaso, una vez transitada (B) se adiciona a la avenida generada por cuenca propia (C) del vaso i + 1 y produce la avenida de entrada (D) a este vaso. La avenida se transita y produce la avenida de salida (E) del sistema de vasos.

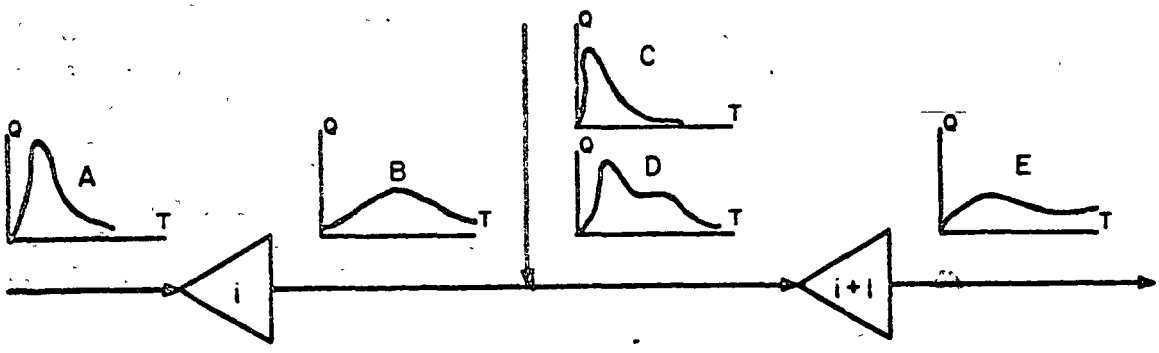


Fig. 18.- Tránsito de avenidas en un sistema de vasos.

El sistema de vasos se modela en forma lineal ya que no toma en cuenta el efecto regulador del cauce ni el retraso de las ondas, por lo que los resultados deben interpretarse como conservadores.

Además, debe realizarse un estudio hidrológico detallado para determinar las avenidas de operación y diseño que sean factibles de ocurrir, así como la simultaneidad de ocurrencia.

iii). Resultados

Para los dos grandes sistemas identificados en la cuenca del río

Grijalva-Usumacinta se llegó a los siguientes resultados:

a). El sistema Grijalva formado por sus seis presas con sus respectivas plantas con una potencia instalada de 5408.8 MW genera un promedio de 14,151 GWH. El volumen turbinado por el sistema es 71,420 millones de m^3 o sea 221% del escurrimiento del río Grijalva. En cuanto al control de avenidas las presas La Angostura y Malpaso controlan en la actualidad el escurrimiento del río, al integrarse completamente el sistema quedará protegida la parte izquierda de la planicie costera Tabasqueña, una avenida con magnitud igual a la máxima observada (9000 m^3/s) quedaría completamente regularizada.

b). El sistema Usumacinta, que contempla dos alternativas, genera, para la primera, 6999 GWH anuales, con una potencia instalada de 1830 MW se turbina el 163% del escurrimiento medio hasta el sitio del último aprovechamiento; para la segunda alternativa en la cual se incluye el proyecto internacional Agua Azul genera una energía media de 18,173 GWH con una capacidad instalada de 3,902 MW, se turbina un volumen equivalente al 262% del escurrimiento medio del río.

En cuanto al control de avenidas con la primer alternativa no tiene efecto significativo ya que la parte guatemalteca de la cuenca conserva aún gran potencial para generar avenidas. La segunda alternativa proporciona un grado de protección deseable y regula una avenida con magnitud igual a la máxima observada (6000 m^3/s).

V. Referencias y Bibliografía

(1) Buras, Nathan. "Seminario sobre Análisis de Sistemas Hidráulicos impartido en la Ciudad de México". Plan Nacional Hidráulico, 1976.

(2) Hall and Dracup. "Water Resources Systems Engineering". McGraw-Hill, 1970.

(3) Comisión del Plan Nacional Hidráulico. "Resumen", 1975.

(4) S.R.H. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. "Informe Anual", 1975.

(5) Benassini V.Oscar. "Bases para el Aprovechamiento Racional de los Recursos Hidráulicos en México". Revista de Ingeniería Hidráulica, SRH. 1971.

(6) S.R.H. Comisión del Plan Nacional Hidráulico, "Información Panorámica, Resumen", 1975.

(7)

(8) Henderson, J.W. "The Efficiency of Coal Industry", Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1958.

(9) Stevens, B.H. "An Interregional Linear Programming Model", J. Reg. Sci., 1958.

(10) Rahman, M.A. "Regional Allocation of Investment" Q.J.Econ., 1963.

(11) Mera, K. "Survey of Model Building for Regional Economics", Discussion Paper No. 55, Program on Regional and Urban Economics, Harvard University, Cambridge, Mass. 1969.

(12) SARH. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. "Modelo Hidroagrícola. Primera parte", 1976.

(13) SARH. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. "Río Bravo, Simulación Hidrológica", 1976.

(14) SARH. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. "Río Grijalva-Usumacinta, Simulación Hidrológica", 1976.

(15) Huerta M., Joaquín. "Proyecciones de Rendimientos en Distritos de Riego y Módulo de Proyección", CPNH, 1975.

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

CURSO: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ALGUNAS APLICACIONES EN EL SECTOR SALUD

Dr. Rafael Aréchiga Gallegos

Junio - Septiembre, 1977

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

Tengo el agrado de dirigirme a ustedes, con el objeto de exponerles algunas de las experiencias que un grupo de Ingenieros y Técnicos hemos desarrollado en el campo de la Medicina y la Asistencia Social.

Cabe señalar, que dada la naturaleza particular del Sector Salud las aplicaciones de nuestras especialidades tales como la Computación Electrónica, la Ingeniería de Sistemas, etc., están estrictamente vinculadas al trabajo interdisciplinario con otros profesionales en ramas tales como la Ingeniería en Salud Pública, Epidemiología, Oncología, etc.

Los trabajos que en seguida se mencionan los he agrupado en 3 grandes rubros que engloban las características afines de tales aplicaciones:

I.- Aplicaciones basadas en el Procesamiento Electrónico de modelos matemáticos:

- I.1 . DISTRIBUCIONES DE DOSIS EN BRAQUITERAPIA Y TERAPIA POR HAZ EXTERNO POR METODOS COMPUTACIONALES (RADIOTERAPIA I y II)
- I.2 . PLANEACION DE LOS SERVICIOS ASISTENCIALES DE LA DELEGACION "VENUSTIANO CARRANZA" (PLAZA XVI)
- I. 3 . CALCULO DE LA ESPERANZA DE VIDA USANDO UN COMPUTADOR DIGITAL

II.- Aplicaciones Técnico- Médicas a través de sistemas de Información Mecanizados:

- II.1 . REGISTRO NACIONAL DE INVALIDOS (RENI)

II.2 . REGISTRO NACIONAL DE ENFERMOS CON CANCER (RENEC)

II.3 . CONTROL EPIDEMIOLOGICO DE ENFERMEDADES TRANSMISIBLES (CEPIET)

II.4 . SISTEMA DE PROCESO DE INFORMACION BIOESTADISTICA DE EGRESOS HOSPITALARIOS (SPIBEH)

III.- Y finalmente estrategias para el desarrollo de Sistemas de Información Integrales:

III.1 . SISTEMA DE INFORMACION MECANIZADO PARA LA ERRADICACION DEL PALUDISMO (SIMCEP)

IV.- Conclusiones:

IV.1 . CENTRO DE INVESTIGACIONES BASICAS EN APLICACIONES MEDICAS (CIBAM)

I.- APLICACIONES BASADAS EN EL PROCESAMIENTO ELECTRONICO DE MODELOS MATEMATICOS.

Sin lugar a dudas, la informática no sólo abre nuevos capítulos en los vastos sistemas de información, sino que difícilmente en la actualidad se concibe el funcionamiento de los organismos públicos o privados, sin el soporte científicamente regulado de esta ciencia y sus aplicaciones.

Una de las aplicaciones más interesantes de la computación electrónica se encuentra en el manejo de modelos matemáticos orientados a proporcionar información que auxilie en la toma de decisiones. Particularmente, se tratan algunos aspectos que caracterizan la problemática en el tratamiento del cáncer que es precisamente el campo donde se han desarrollado estudios en el área de Radioterapia tendientes a mejorar, en cuanto a efectividad se refiere al tratamiento de pacientes cancerosos, aportando una metodología basada en la aplicación de modelos matemáticos y tablas experimentales que permiten la obtención de gráficas (curvas de isodosis) por medio de un computador digital.

Por otra parte el uso de modelos matemáticos adecuados permite en el campo de la Salud Pública que la planificación de los servicios asistenciales alcance una mayor consolidación entre las metas establecidas y su logro, dependiendo ello de una conjugación entre plan y programa, entendiéndose que el plan constituye el conjunto de objetivos y medio relativos al mejoramiento deseado, y el programa el conjunto de operaciones inscritas dentro del marco del plan.

I.1.- DISTRIBUCIONES DE DOSIS EN BRAQUITERAPIA Y TERAPIA POR HAZ EXTERNO POR METODOS COMPUTACIONALES.

I.1,1.- INTRODUCCION

En el presente trabajo, se expone en forma resúmida la experiencia obtenida en el terreno de la computación electrónica, aplicada a la radioterapia que se ha obtenido en la Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.). Se enfatiza la importancia de la labor interdisciplinaria que se debe desarrollar para emprender proyectos de esta naturaleza, en los cuales se conjuga el conocimiento técnico y científico que aportan las ciencias médico biológicas, así como la física, matemática y computación electrónica, disciplinas cuya aparente inconexión establece obstáculos en la comunicación entre médicos, ingenieros y físicos, ó sea el personal ejecutor de los proyectos.

La S.S.A. a través de la Subsecretaría de Asistencia y la Oficialía Mayor de la misma dependencia, ha logrado establecer un grupo interdisciplinario piloto, integrado con recursos humanos, tecnológicos y materiales que forman parte del Centro Regional Secundario de Calibración y Dosimetría (CRSCD) y la Dirección de Instrumentación, Sistemas e Informática (DISI). El objetivo que a corto y mediano plazos se ha fijado a este grupo, es el de diseñar e implantar sistemas que permitan mecanizar la obtención de distribuciones de dosis en tratamientos de braquiterapia, terapia con haz externo y terapia combinada.

Actualmente el trabajo que se ha logrado, abarca la obtención en forma rutinaria de planeaciones en braquiterapia y terapia por haz externo, por medio del computador digital.

Antes de proceder a explicar las características fundamentales de los sistemas de braquiterapia y terapia por haz externo, se ha considerado conveniente manifestar que la prestación de servicios de este género (que en otros constituyen un lujo) a los estratos socioeconómicos más desfavorecidos de nuestro país, representa una aplicación verdaderamente racional de elementos tecnológicos tan costosos como las computadoras electrónicas, lo cual enorgullece a quienes hemos tenido la oportunidad de participar en estas actividades.

I.1,2.- BRAQUITERAPIA SISTEMA RADIOTERAPIA I

I.1,2.1 GENERALIDADES Y PROCEDIMIENTOS

Por medio del sistema Radioterapia I, es posible obtener en forma mecanizada la distribución de dosis generada por arreglos de fuentes radioactivas implantadas a nivel intersticial, intracavitario ó de moldes.

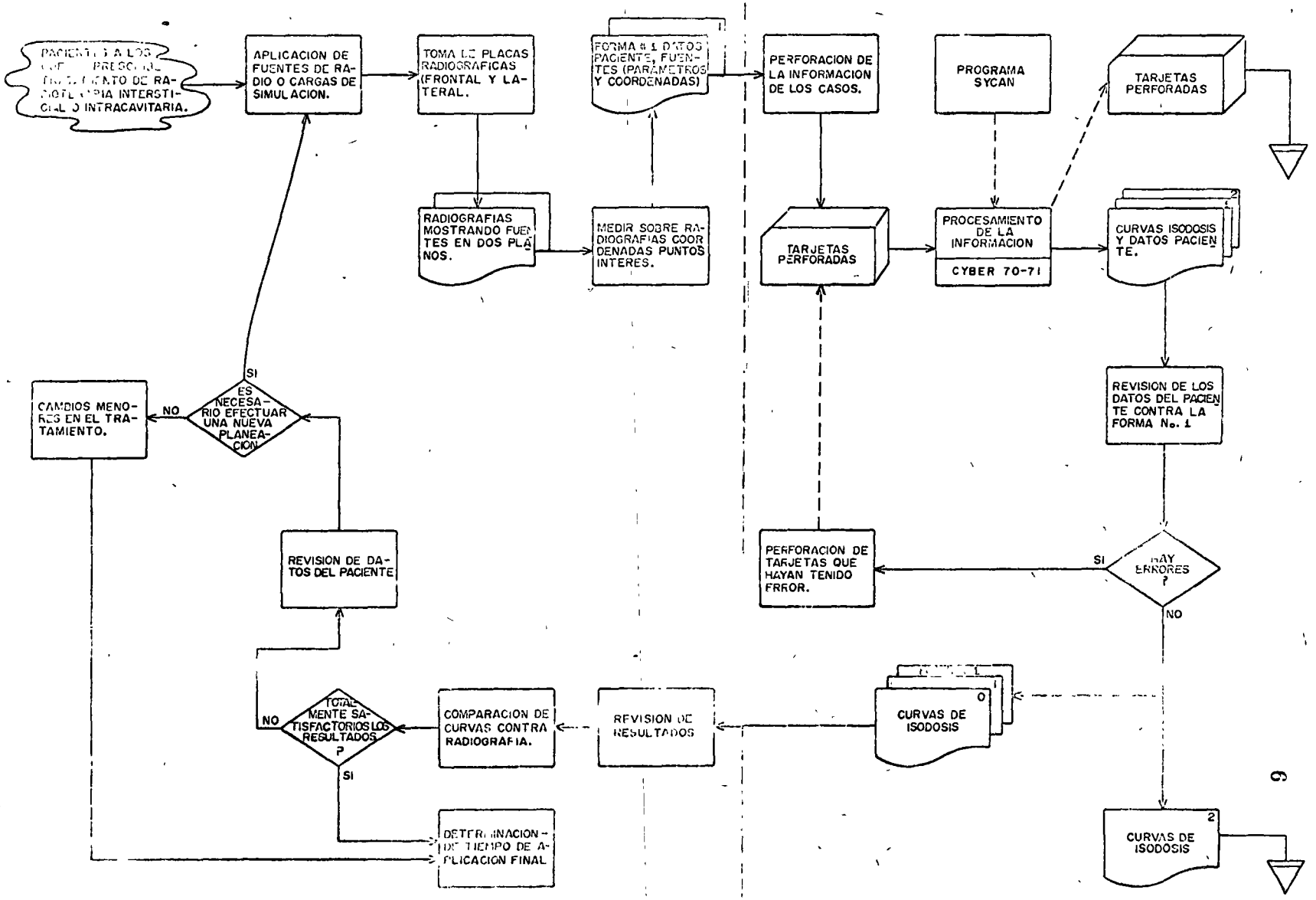
El procedimiento general que se realiza es el siguiente:

- Se efectúa el implante
- Se obtienen dos placas radiográficas: una con vista frontal y otra lateral, en donde se pueda observar el arreglo.
- Se asigna un sistema de coordenadas cartesianas en la toma frontal y se complementa con una tercera coordenada en la lateral.
- Se leen las coordenadas de los extremos de las fuentes sobre las radiografías y junto con otros datos se registran en la forma de captación de datos que se muestra posteriormente.
- Se envía la forma a la D.I.S.I. para capturar y procesar los datos correspondientes.

FIG 2.1 FLUJOGRAMA DE PROCEDIMIENTOS

HOSPITAL GENERAL DE LA S.S.A.
DEPARTAMENTO DE RADIOTERAPIA
(CENTRO REGIONAL SECUNDARIO DE CALIBRACION Y DOSIMETRIA)

DIRECCION DE INSTRUMENTACION SISTEMAS E INFORMATICA



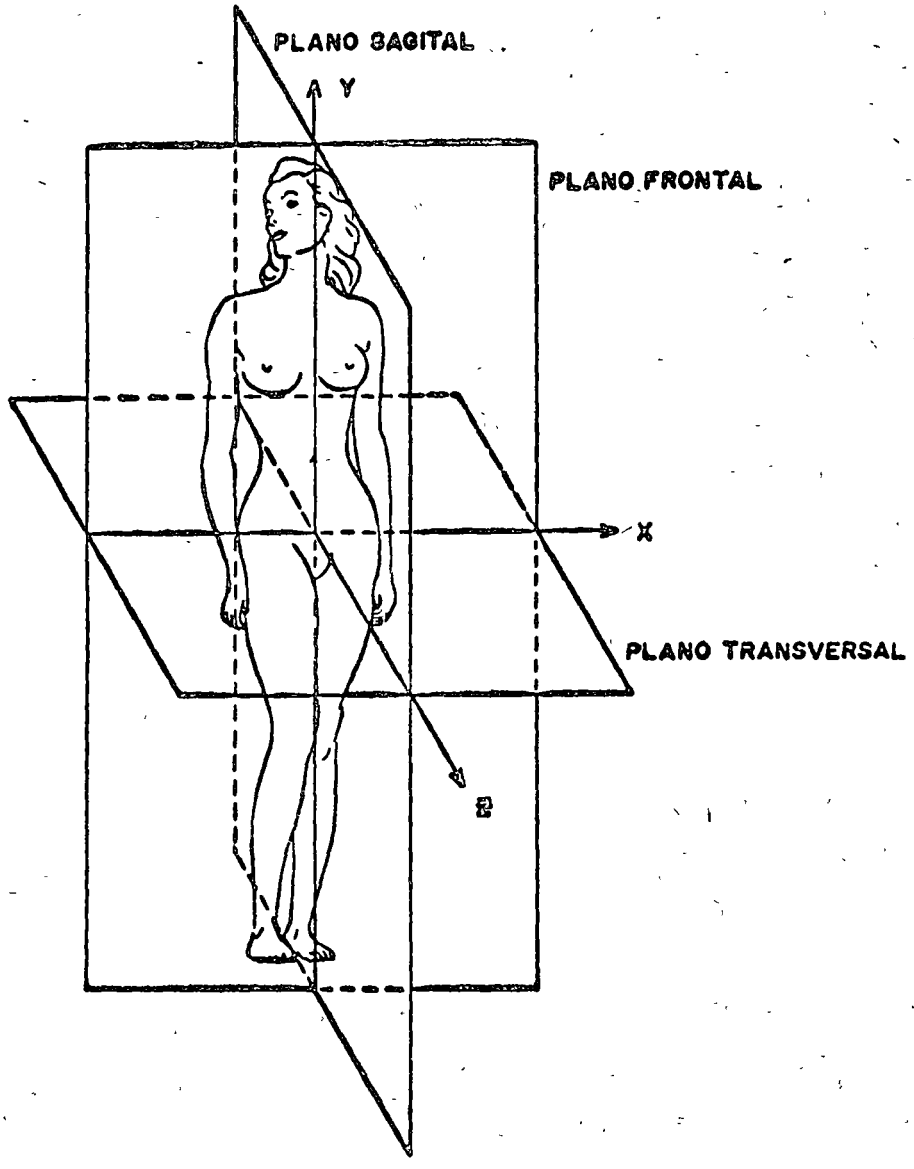


FIG. 2.2 Esquema que muestra los planos en los que interesa obtener las curvas de isodosis debidas a un arreglo dosimétrico para braquiterapia intersticial o intracavitaria.

PLANO SAGITAL	X = 0
PLANO TRANSVERSAL	Y = 0
PLANO FRONTAL	Z = 0

Es necesario establecer la posición de los extremos de las fuentes si se quiere conocer la contribución de dosis debida a una fuente radioactiva en un punto sobre un plano, para esto se utilizan las tablas de Chalek y Stovall, en las cuales se puede consultar la dosis en un punto cualquiera sobre una rejilla si se conocen dos distancias: una a lo largo del eje de la fuente tomando como referencia el centro geométrico de la misma y otra perpendicular a dicho eje. De acuerdo con lo anterior, si se tiene un arreglo de fuentes y se desea conocer su contribución sobre una serie definida de puntos sobre un plano, es necesario determinar tales distancias para cada una de las fuentes y de los puntos, con lo cúal se podrán consultar los valores sobre las diferentes tablas. En la figura 2.3 se muestra el esquema de una fuente con la nomenclatura de sus puntos extremos y medio así como las distancias necesarias para consultar la tabla de dosis.

Para obtener las distribuciones sobre los tres planos, es necesario establecer un punto de referencia y hacer coincidir las coordenadas de éste con alguno de los puntos de las fuentes.

Todos los valores leídos sobre las radiografías están afectados por un factor de amplificación el cual está definido por las características del equipo de rayos X y los parámetros con los que se obtienen las placas, por lotanto es necesario corregir los valores de las coordenadas con dicho factor para obtener las dimensiones reales:

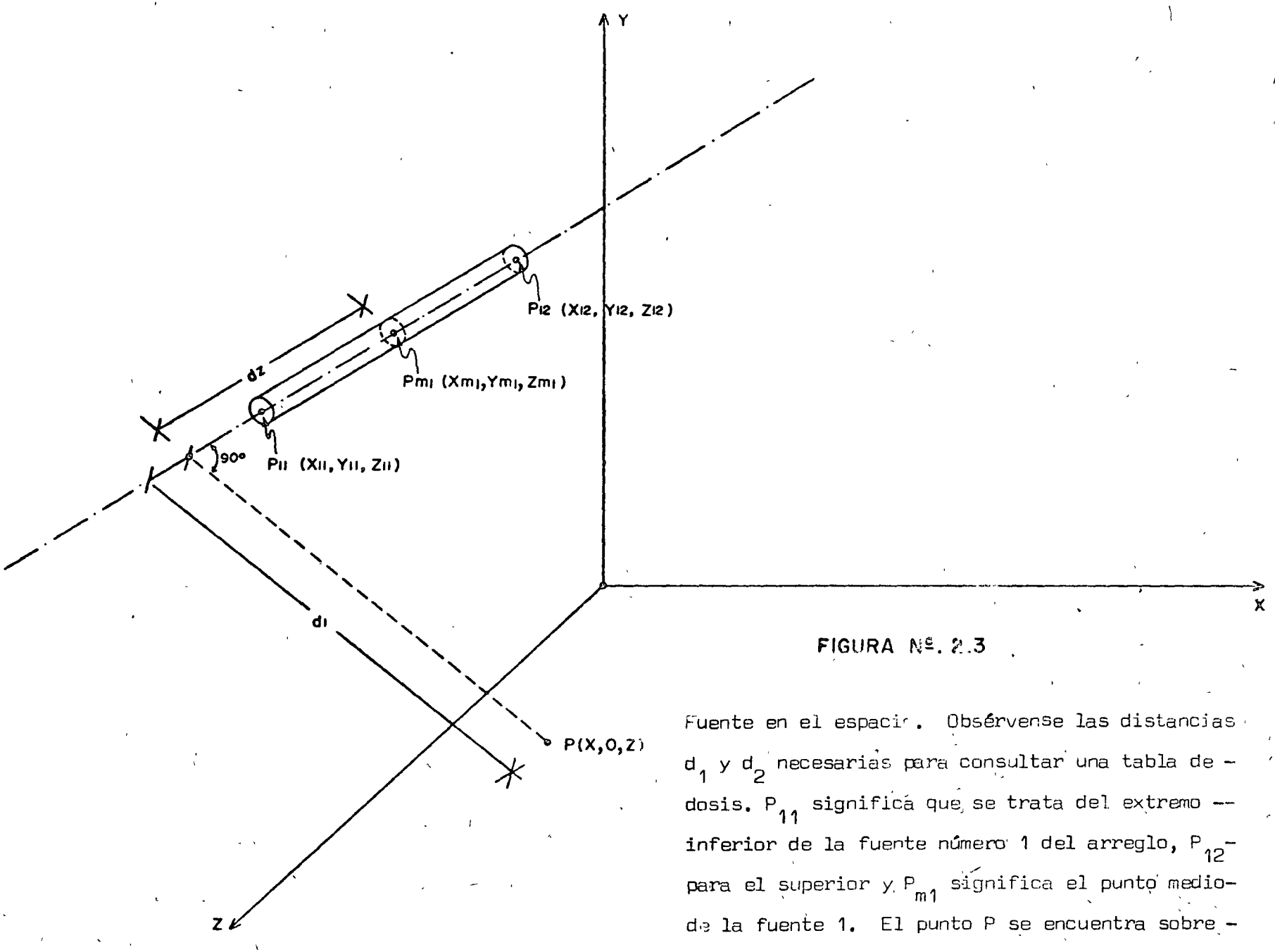


FIGURA Nº. 2.3

Fuente en el espacio. Obsérvense las distancias d_1 y d_2 necesarias para consultar una tabla de dosis. P_{11} significa que se trata del extremo inferior de la fuente número 1 del arreglo, P_{12} para el superior y P_{m1} significa el punto medio de la fuente 1. El punto P se encuentra sobre el plano transversal (Y=0)

Se quiere conocer el punto medio de cada fuente para proceder a seleccionar el plano sobre el cual se desea obtener la contribución de dosis por cada una de las fuentes.

Como el objetivo es obtener la contribución de dosis en un número de puntos suficientemente grande para la visualización de las curvas de isodosis, se ha seleccionado un área que da cabida a 5151 puntos equivalentes al mismo número de caracteres de impresión de la computadora; y con lo que se logra visualizar perfectamente el patrón de radiación del arreglo.

Se deben definir las coordenadas de cada uno de los puntos que constituyen el plano de interés, sin olvidar que para efecto de los cálculos, tales coordenadas serán las reales y para impresión de curvas se deberán efectuar con el factor de amplificación correspondiente para su comparación con las placas radiográficas.

Ya conocidas tales coordenadas, se deben determinar las distancias longitudinal (d1) y perpendicular (d2) al eje de la fuente, permitiendo así conocer la contribución de dosis de la fuente al punto que se desea irradiar. Obviamente, la dosis total en el punto es la sumatoria de las contribuciones parciales de cada fuente sobre el mismo.

Como es de imaginarse, las distancias longitudinal y perpendicular casi nunca coinciden con las que dan en las tablas, por lo cual es necesario efectuar interpolaciones, de las cuales dependerá en gran parte la exactitud de los resultados. En el sistema se utilizó una interpolación lineal entre los cuatro valores de distancias más cercanos a los obtenidos.

Las tablas de dosis dan valores para una región limitada adyacente a la — fuente sin considerar regiones muy alejadas o regiones muy cercanas a la — misma, en las cuales se aplican consideraciones prácticas para la determinación de dosis.

Con el procedimiento anterior, queda determinada la contribución de dosis— debida a una fuente en un punto P sobre un plano de interés. Cabe hacer notar que la dosis debida a un arreglo de fuentes sobre un punto P está constituida por la sumatoria de la contribución de dosis de cada una de las — fuentes al punto de interés.

Como puede observarse en los resultados presentes, la definición de contornos de isodosis es aceptable, no obstante la susceptibilidad de ser mejoradas con la aplicación de un graficador en lugar de una impresora común.

En la actualidad se procesan rutinariamente en el equipo CYBER 70/71 implantado recientemente en esta Dirección, los casos que envía el C.R.S.C.D. a— la D.I.S.I., obteniéndose las distribuciones de dosis en tres planes en un promedio de 1 min. por caso.

I.1,3.- TERAPIA POR HAZ EXTERNO

I.1,3.1 GENERALIDADES Y PROCEDIMIENTOS

El sistema Radioterapia II proporciona las curvas de isodosis, necesarias para la aplicación de tratamiento de terapia por haz externo, este tipo de terapia es utilizada en el Centro Regional Secundario de Calibración y Dosimetría de la Secretaría de Salubridad y Asistencia; las fuentes de radiación que se emplean son las denominadas fuentes de cobalto, bombas de Cesio, Rayos X, Aceleradores lineales, etc., la característica fundamental de esta técnica es que el paciente no tiene contacto directo con la fuente sino que se apovecha el haz de radiación de la misma, a una distancia determinada, de acuerdo al tratamiento prescrito por el médico.

El procedimiento general que se realiza es el siguiente:

- Se confirma la existencia del proceso morboso en determinada región anatómica del organismo del paciente.
- Se determina el tamaño, localización exacta del tumor y los órganos y tejidos que lo rodean.
- En base a lo anterior el radioterapeuta determina la dosis que se ha de suministrar al tumor, el número de sesiones, el tiempo de cada sesión, así como el tipo de planeación que propone para el tratamiento.
- De acuerdo con la planeación propuesta, se determinan las coordenadas de entrada de los campos en el contorno del paciente, y junto con otros datos se registran en la forma de captación de datos que se muestran posteriormente

- Se envía la forma a la D.I.S.I. para perforar las tarjetas correspondientes y procesar los datos.
- Con el procesamiento de los datos en la computadora, se obtienen impresas las curvas de isodosis en un plano transversal con respecto al paciente.
- Las curvas de isodosis son integradas al C.R.S.C.D. en donde se determina finalmente si la planeación propuesta satisface las necesidades del tratamiento.

En la figura 3.1 se muestra un flujograma que detalla los procedimientos anteriores.

I.1,3.2 DESCRIPCION DEL MODELO MATEMATICO.

El modelo que se utiliza para la obtención de las distribuciones de dosis, está basado en la investigación realizada por Sterling, Perry y Katz en la Universidad de Cincinnati publicada en el British Journal of Radiology, la cual consiste en el desarrollo, de un modelo matemático que representa la distribución de dosis generada por campos de radiaciones de cobalto 60.

Las explicaciones siguientes basadas en la publicación mencionada, conducen a encontrar una expresión matemática simple y exacta de la distribución de dosis en profundidad de un haz de radiaciones que sale por un campo rectangular de cualquier largo y ancho.

Las soluciones básicas son las siguientes:

a) Existe una relación simple entre el porcentaje de dosis en profundidad

para puntos alejados del eje central (haz principal) y aquellos que se encuentran sobre dicho eje a la misma profundidad.

b) El decremento de dosis a lo largo del eje central puede ser expresado como una función de la configuración del campo y de la profundidad abajo de la superficie de la piel.

Pfalzner (1960) estableció que las tasas tumor-aire para radiación de Cobalto 60 graficadas en papel logarítmico contra el área del campo, tomando la profundidad como parámetro, generan líneas rectas (Ver figura 3.2) Enbase a lo anterior, la dosis axial en profundidad puede ser expresada como función de la profundidad y del tamaño del campo. Datos experimentales demuestran que campos con áreas iguales pero de formas diferentes, generan distintos porcentajes de dosis en profundidad sobre el eje central. Sin embargo si se afecta el área (A) del campo el perímetro (P) del mismo, larelación entre el porcentaje de dosis y la relación área/perímetro del campo es casi perfecta.

Por lo tanto, es posible expresar el porcentaje de dosis sobre el eje central a cualquier profundidad como una función de la relación área/perímetro del campo:

$$\log DH = h + v \log \frac{A}{P} \quad \ldots\ldots\ldots (3.1)$$

$\frac{A}{P}$ es la tasa del área del campo sobre el perímetro del mismo, h y v son constantes de interacción y pendiente respectivamente.

FLUJOGRAMA DE PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DE CURVAS DE ISODOSIS EN TERAPIA POR HAZ EXTERNO

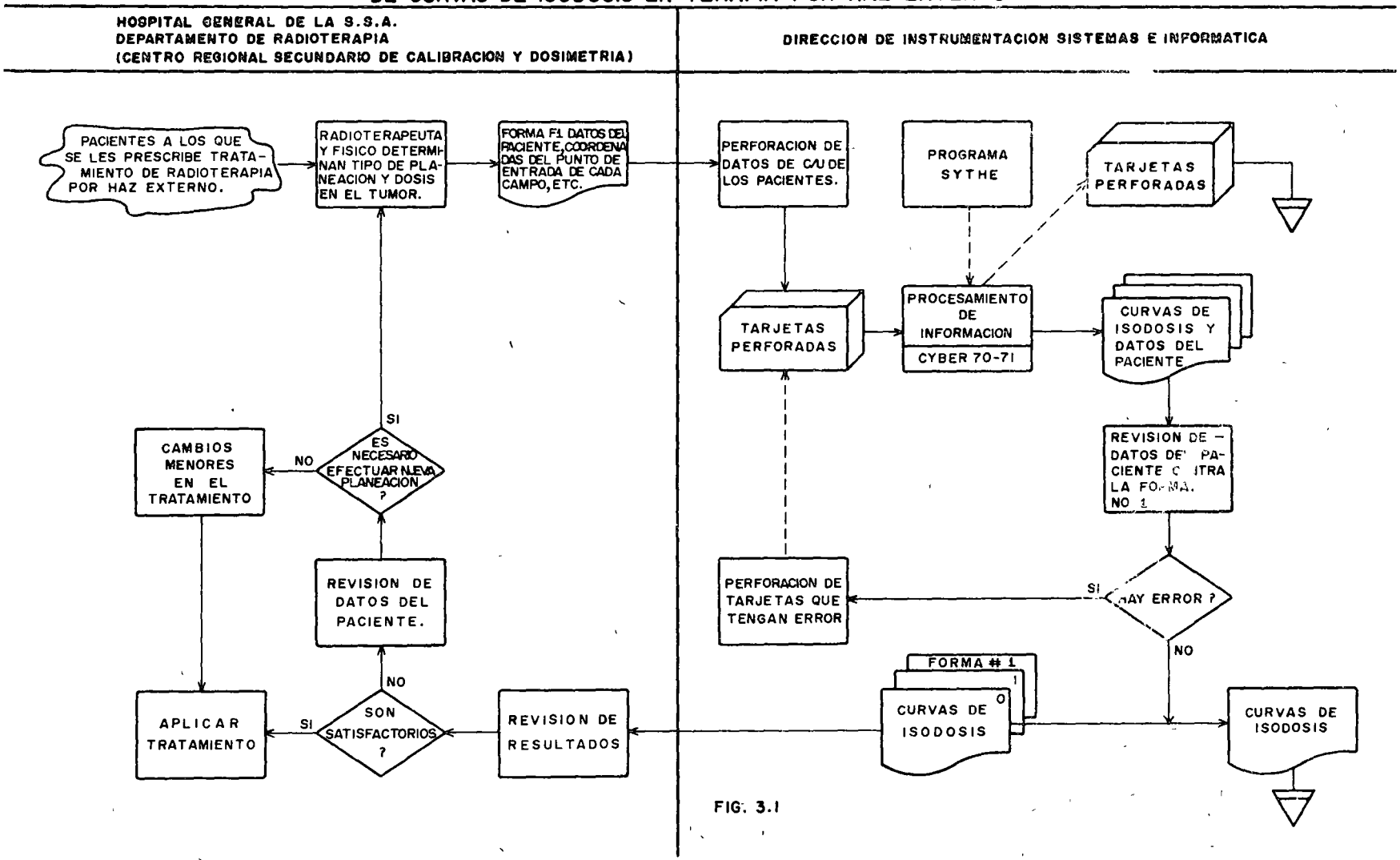


FIG. 3.1

En las figuras 3.3 y 3.4 muestran las relaciones que existen entre la pendiente v y la interacción h, con la distancia de un punto cualquiera sobre el haz principal a la piel respectivamente. Las figuras mencionadas sugieren que la relación entre la distancia y la pendiente, así como la existente entre la distancia y la interacción pueden ser descritas por las expresiones lineales siguientes:

$$h = - 0.036\ d_1 + 2.044 \ldots\ldots (3.2)$$

$$v = \quad 0.013\ d_1 - 0.0055 \ldots\ldots (3.3)$$

En donde d_1 es la distancia del punto de entrada que el punto en el cual se requiere conocer el porcentaje de dosis en profundidad.

Las constantes de las ecuaciones se obtienen en gráficas generadas con datos experimentales.

De tal manera que si sustituimos h y v en la ecuación (3.1) obtenemos:

$$DH = (-0.036\ d + 2.044)$$

$$(0.013\ d - 0.0056)\ \log \left(\frac{A}{P}\right) \ldots (3.4)$$

El error máximo de estimación de la ecuación es menor al 1%, lo cual se determinó con métodos de medición muy exactos, excepto para el primer centímetro de profundidad, en donde el error es mayor debido a la emisión electrónica secundaria.

Existe una relación entre los porcentajes de dosis en profundidad sobre la rejilla (ver figura 3.5) en donde se quiere obtener la distribución, con -

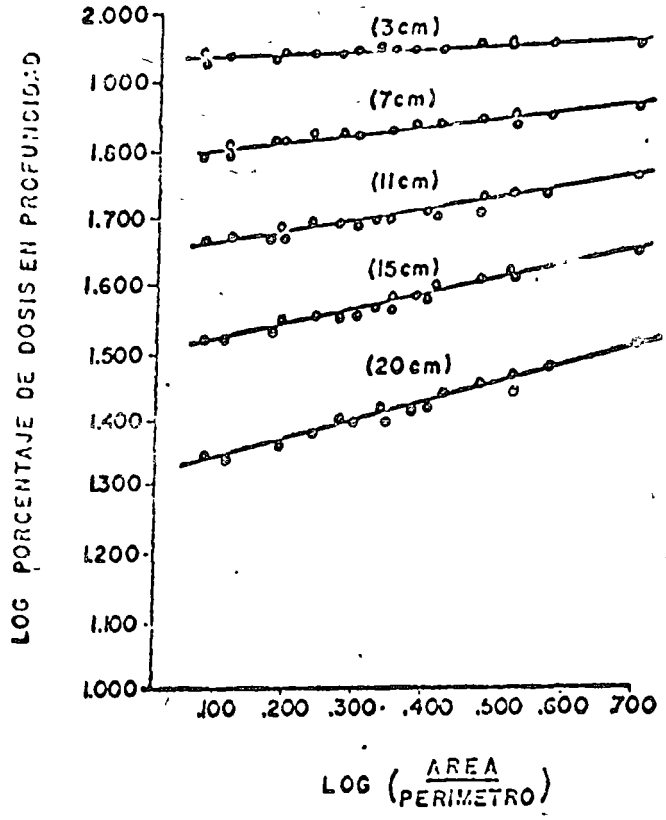


FIG. 3.2 COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE DOSIS EN PROFUNDIDAD EN EL HAZ PRINCIPAL CON EL LOG (AREA/PERIMETRO) DE CAMPOS DE COBALTO 60 DE DIFERENTES TAMAÑOS A 80 CMS. DE DFP PARA DISTANCIAS DE 3, 7, 11, 15 Y 20 CMS. ABAJO DE LA SUPERFICIE DE LA PIEL.

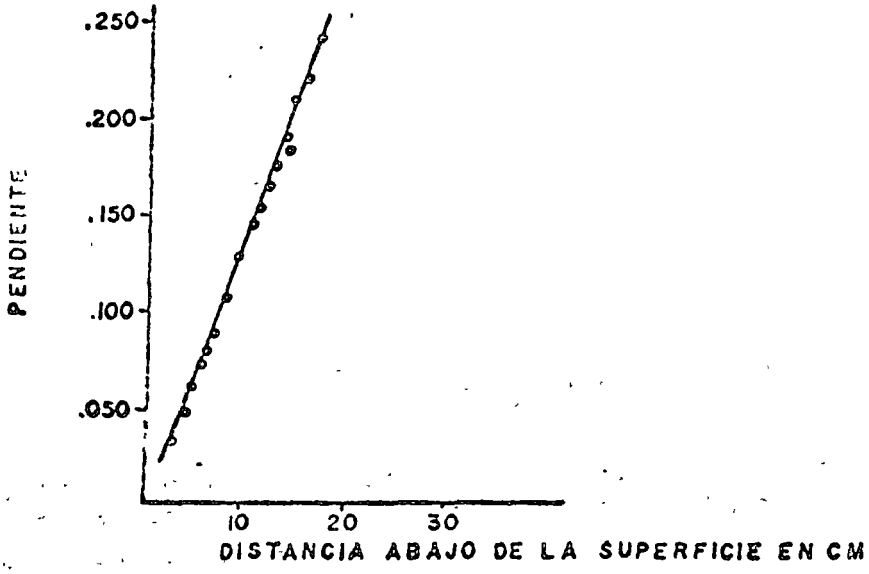


FIG. 3.3 COMPORTAMIENTO DE LA PENDIENTE DEL EJE DEL PORCENTAJE DE DOSIS EN PROFUNDIDAD COMO UNA FUNCION DEL LOG (AREA/PERIMETRO) DE UN CAMPO A UNA DISTANCIA ABAJO DE LA SUPERFICIE DE LA PIEL.

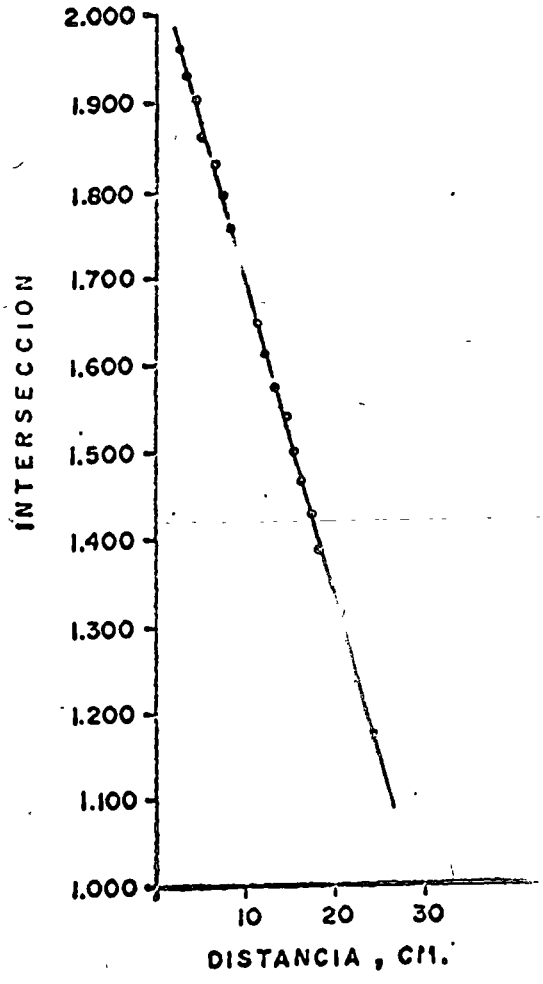
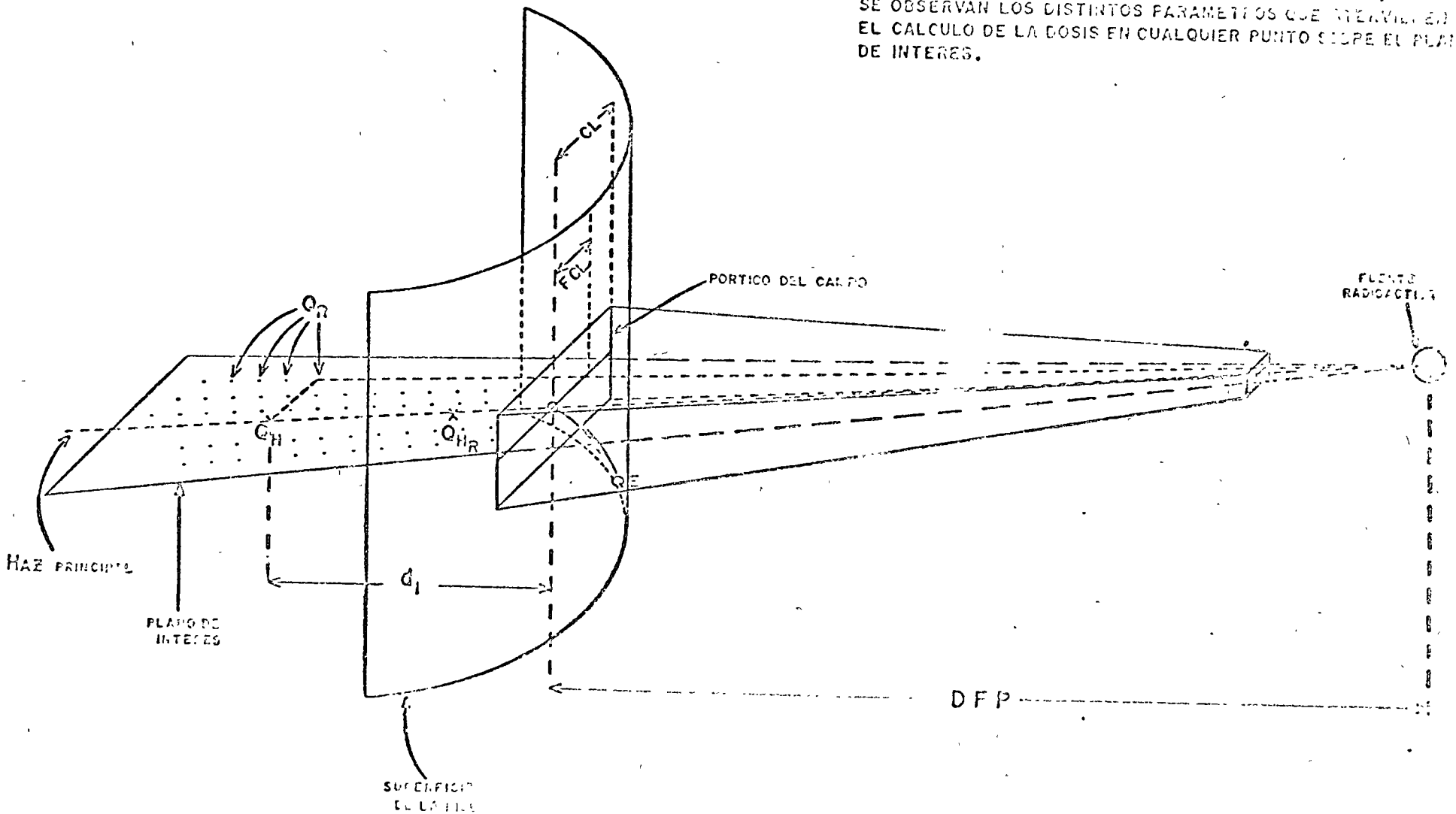


FIG. 3.4 COMPORTAMIENTO DE LA INTERSECCION DEL EJE DEL PORCENTAJE DE DOSIS EN PROFUNDIDAD COMO UNA FUNCION DEL LOG (AREA/PERIMETRO) DE UN CAMPO A UNA DISTANCIA ABAJO DE LA SUPERFICIE DE LA PIEL.

FIG. 3.5 ESQUEMA DE UN CAMPO DE RADIACION INCIDENTE [illegible]
REGION ANATOMICA DE UN PACIENTE EN TRATAMIENTO.
SE OBSERVAN LOS DISTINTOS PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN
EL CALCULO DE LA DOSIS EN CUALQUIER PUNTO SOBRE EL PLANO
DE INTERES.



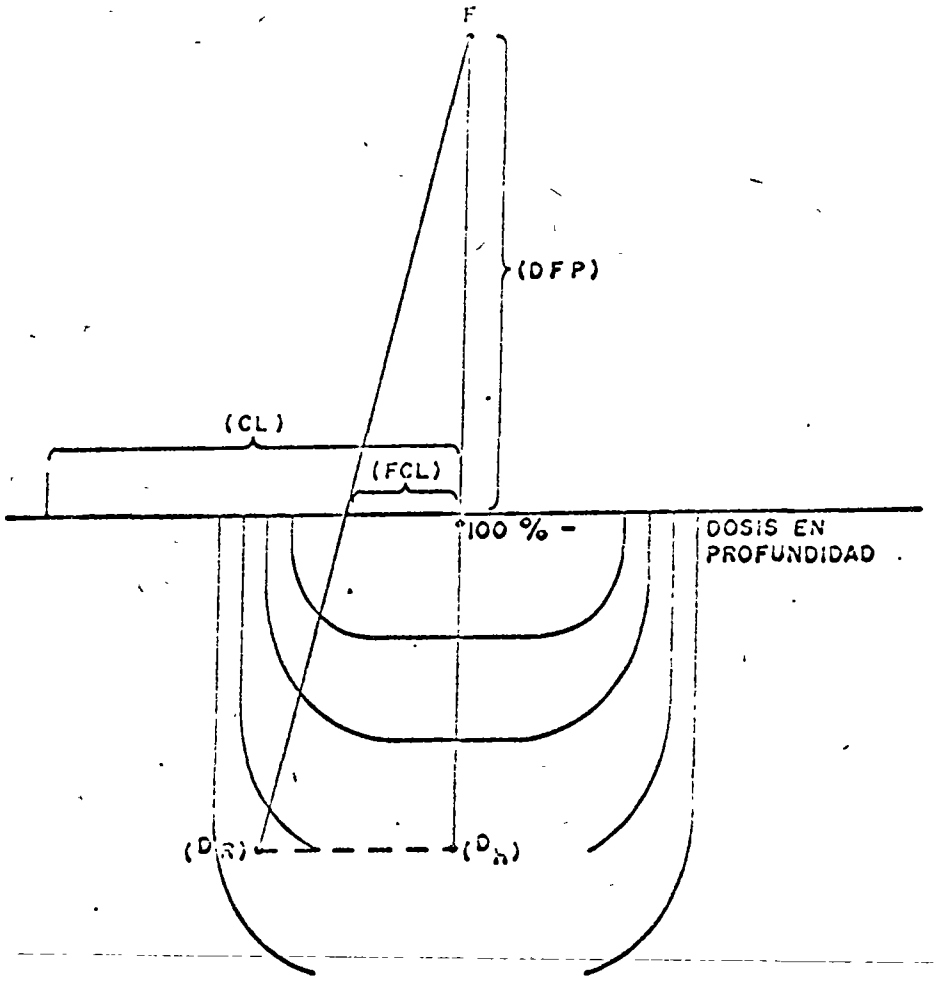


FIG. 3.6 DIAGRAMA ESQUEMATICO QUE MUESTRA LOS PARAMETROS PARA DETERMINAR LA DOSIS EN UN PUNTO CUALQUIERA.

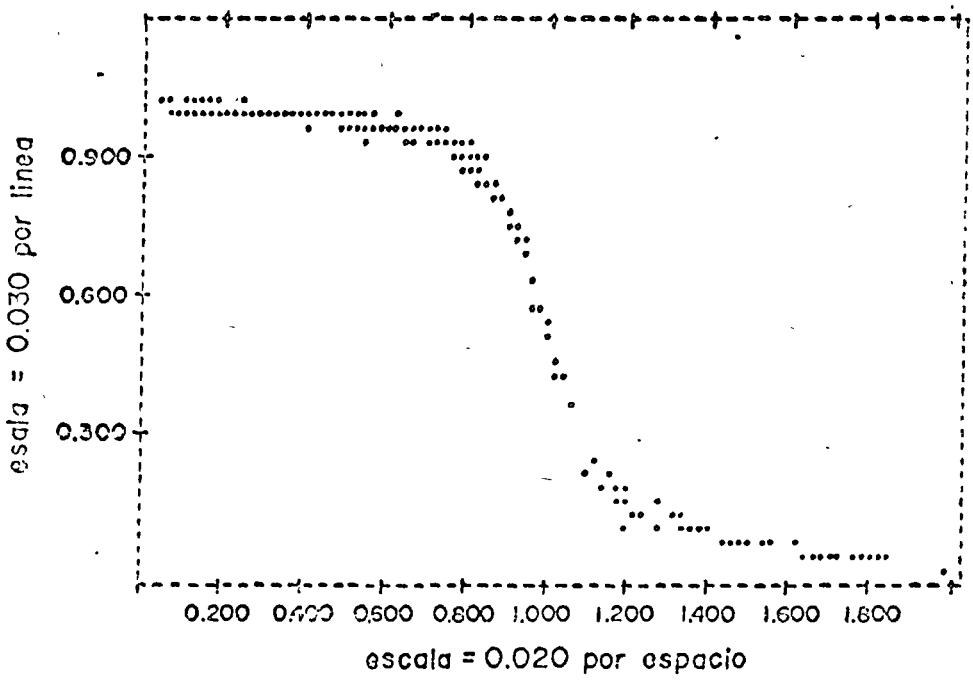


FIG.3.7GRAFICA DE R CONTRA $\frac{FCL}{CL}$ PARA UN CAMPO DE TAMAÑO 10 X 10 LA GRAFICA SE OBTUVO POR MEDIO DE UN COMPUTADOR CON UNA SALIDA DE IMPRESION DE 1150 PUNTOS. CADA PUNTO SE ESTABLECIO PARA AL MENOS TRES OBSERVACIONES.

aquéllos a la misma profundidad sobre el eje central. Esto se investigó - utilizando valores experimentales, llegándose a la conclusión de que existe una relación entre $\frac{DR}{DH}$ y la tasa $\frac{FCL}{CL}$ en donde CL es la mitad del campo - y FCL es la distancia de la intersección sobre la superficie de la piel de la línea que une el punto Q_R con la fuente desde el haz principal del campo (ver figura 3.6) esto es:

$$\frac{DR}{DH} = R = f\left(\frac{FCL}{CL}\right)$$

La relación anterior se muestra graficamente en la figura 3.7, donde se — grafica R contra la tasa $\frac{FCL}{CL}$ para un campo cualquiera, por lo tanto se puede observar que la función $\frac{FCL}{CL}$ tiende a ser aproximada con buena exactitud a la función de la probabilidad normal o distribución de Gauss, por lo que es posible establecer la siguiente ecuación:

$$R = \int_{-\infty}^{\frac{FCL}{CL}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\frac{FCL}{CL} - \mu}{\sigma}\right)^2} d\left(\frac{FCL}{CL}\right)$$

En donde $\frac{FCL}{CL}$ es la variable normal acumulativa con una desviación típica — = 0,17 y una medida = 1.

En base a lo anterior, se puede determinar la dosis debido a un campo en un punto Q_R cualquiera de la rejilla y por consiguiente se está en condiciones de obtener la distribución de dosis generada por campos múltiples en un plano determinado.

C O N C L U S I O N E S

. La solución propuesta para braquiterapia y el programa desarrollado para el efecto, satisface las condiciones necesarias para la obtención de curvas de isodosis.

Los ejemplos mostrados, corresponden a casos de implantes practicados en pacientes del Hospital General de la S.S.A., (se omiten nombres por razones obvias) y han sido comprobados con resultados obtenidos tanto en forma manual como mecanizado, demostrandose su utilidad.

. Los resultados presentados para terapia por haz externo, se consideran satisfactorios para la solución del problema planteado.

Como fase posterior a la obtención de las curvas de isodosis en terapia por haz externo para campos múltiples sin filtración se pretende incluir el efecto de los filtros y correcciones por aire y tejido, con lo cual se estará en posibilidades de atacar el problema de terapia combinada.

. La prestación de un servicio de este género a unidades asistenciales populares representa una de las aplicaciones racionales de las unidades de sistematización de datos en el sector público de la República Mexicana.

. Los avances tecnológicos que se logren en el terreno de la salud, no deben ser privativos de instituciones particulares, centralizadas o descentralizadas, sino que deben comunicarse para el bienestar de la comunidad para lo cual se requiere de un intercambio de experiencias entre todas las instituciones nacionales que esten avocadas a la solución de este tipo de problemas, con lo que se logrará un verdadero avance de esfuerzos, sobre la base de la cooperación y no de la competencia.

I.2.- PLANEACION DE LOS SERVICIOS ASISTENCIALES EN LA DELEGACION "VENUSTIANO CARRANZA" (PLAZA XVI)

El estudio al que se hace mención se denomina: Planeación de los Servicios Asistenciales de la Delegación Venustiano Carranza el cual esta basado en la elaboración de modelos matemáticos y en la aplicación de la computación electrónica.

a).- SELECCION DE UN DISTRITO MODELO

En principio, se decidió estudiar la situación de una área limitada, cuyas características permitieran tomarla como modelo para analizar el problema en general. Se seleccionó para este objeto, al distrito sanitario correspondiente a la Delegación Venustiano Carranza.

En la figura A se puede observar que en materia de servicios médicos la Delegación cuenta con: Tres Centros de Salud de la S.S.A., cuatro hospitales del D.D.F., tres clínicas del I.M.S.S., cuatro clínicas del I.S.S.S.T.E. y otras cinco que, aunque se encuentran fuera de la Delegación, prestan sus servicios a una parte de la población.

b).- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y SU SOLUCION

Dada una área limitada de estudio, en donde habita un núcleo de población que requiere de servicios de asistencia médica y dados los recursos de las instituciones públicas para satisfacer esta demanda, se deben establecer, los sistemas y procedimientos que permitan coordinar todos los servicios que a este nivel son otorgados, definir la reubicación de los centros de asistencia médica ya existentes, o la ubicación de los nuevos, así como las áreas en que imparten sus servicios. Para resolver un problema con caracte

UNIDADES PARA LA ATENCION MEDICA
(MODELO CONCEPTUAL)

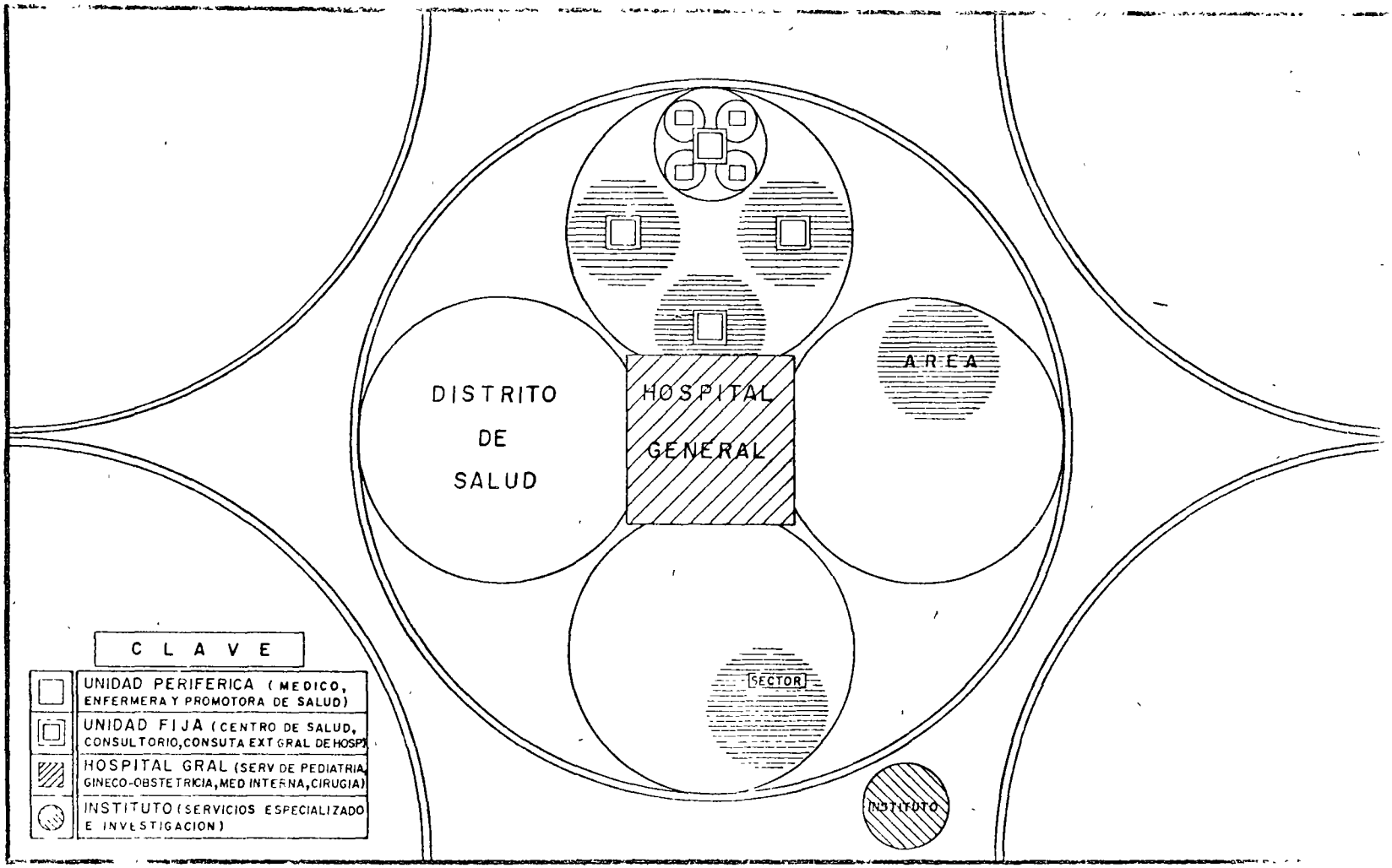


FIGURA Nº A

STRUCTURA CONCEPTUAL DEL MODELO

D E S T I N O S (SECTORES)

ORIGENES (CENTROS DE ASISTENCIA MEDICA).	1 SECCION NORTE COLONIA ARENAL	2 SECCION SUR COLONIA ARENAL	3 COLONIA AMPLIACION CARACOL.	4 COL. CARACOL Y COL. LOS TEOS.	.....	36 SECC. DE LOS EJIDOS DEL PEÑON	OFERTAS (CAPACIDAD FUNCIONAL EN N° DE CONSULTA
CENTRO SALUD BEATRIZ V. DE ALEMAN (S.S.A.)	1 500	1.340	1.292	1.233	.....	0.952	6250
CENTRO SALUD JUAN DUQUE DE ESTRADA (S.S A.)	1.304	1.128	1.078	0.999	.....	0.847	6000
CENTRO DE SALUD DR. LUIS E. RUIZ (S.S.A.)	1.412	1.235	1.186	1.107	.....	1.077	2700
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
HOSPITAL INFANTIL INGUARAN (D.D.F.)	1.587	1.428	1.379	1.321	.....	0.944	1800
DEMANDAS (NUMERO DE CONSULTAS QUE REQUIERE CADA SECTOR).	2945	2164	1412	1842	.....	1284	CONSULTAS TOTAL 30,050 / CONSULTAS TOTAL 77,705

NOTA: LAS CANTIDADES QUE APARECEN EN LA MATRIZ, REPRESENTAN LOS COSTOS DE TRANSPORTE (EN PESOS) DE UNA PERSONA QUE PARTE DE UN ORIGEN PARA LLEGAR A UN DESTINO.

FIGURA Nº 8

rísticas como las descritas, es necesario recurrir al auxilio de herramientas tales como la Investigación de Operaciones. La utilización de esta metodología permite evaluar los efectos de diferentes estrategias de acuerdo con la situación particular para el caso que nos ocupa, haciendo intervenir en el análisis otros factores diferentes a los de orden técnico, como pudieran ser los de tipo social y político.

Una vez seleccionada el área de estudio se definió el tipo de metodología que a nivel técnico proporciona una solución adecuada, para tal objeto se tomaron en consideración los siguientes planteamientos:

1.- Se efectuó la coordinación entre todas las dependencias que prestan servicios de medicina asistencial, a fin de considerar a todos los establecimientos en la asignación del área de influencia.

2.- Se asignó a cada habitante el Centro de Asistencia Médica (CAM) al que puede asistir, a fin de controlar que su asistencia sea sólo a éste.

3.- Se acordó que los Centros de Asistencia Médica presten el mismo tipo de servicios. En caso de requerir servicio más especializado se turnará a un segundo contacto.

4.- Se aplicó un modelo matemático por medio del cual se asignó óptimamente la población a los Centros de Asistencia Médica de modo que se minimice el grado de dificultad de acceso del sector de población al CAM.- La solución del modelo se efectuó por medio de un computador digital.

c).- CARACTERISTICAS DEL MODELO MATEMATICO

Los factores relevantes que se consideraron en el modelo son: en primer lugar, las características de la población a servir, tales como su magnitud, nivel socioeconómico distribución a través de la Delegación y su demanda de servicios médicos; en segundo lugar se han tomado en cuenta, las características de los CAM según su ubicación, su capacidad funcional y otros recursos con que cuenta; por último se consideran también las características del movimiento de pacientes de su domicilio al CAM, éstas son: el tiempo recorrido, el costo por hora-hombre consumida y los gastos de transportación. Bajo esta perspectiva, la solución al problema se planteó mediante un modelo matemático de transporte cuya estructura se muestra en la figura B, considerándose los factores típicos de un problema de transporte: Orígenes, destinos, ofertas y demandas. Para resolver el problema, estos factores tienen la interpretación respectiva: Centros de Asistencia Médica, Sectores, Capacidad funcional en número de consultas y número de consultas que requiere cada sector.

En la figura Nº 1 se muestra el arreglo matricial expresado en simbología matemática.

El significado de los parámetros y variables de la figura 1 es el siguiente:

CAM_i Es el Centro de Asistencia Médica i

S_j Es el sector de población j

O_i Es la capacidad funcional del CAM_i

D_j Es la demanda de consultas requeridas del S_j

MODELO MATEMATICO

ORIGENES	DESTINOS	OFERTAS
	S_1 S_2 S_3 ---------- S_m	
CS_1	C_{11} C_{12} C_{13} ---------- C_{1m}	O_1
CS_2	C_{21} C_{22} C_{23} C_{2m}	O_2
CS_3	C_{31} C_{32} C_{33} C_{3m}	O_3
.	. . . .	.
.	. . . .	.
.	. . . .	.
CS_n	C_{n1} C_{n2} C_{n3} ---------- C_{nm}	O_n
DEMANDAS	D_1 D_2 D_3 ---------- D_m	O_T / D_T

CAM_i Es el Centro de Asistencia Médica i

S_j Es el sector de población j

O_i Es la capacidad funcional del CAM_i

D_j Es la demanda de consultas requeridas del S_j

FIGURA 1

O_T Es la capacidad funcional de todos los CAM es decir

$$O_T = \sum_{i=1}^{n} O_i$$

D_T Es la demanda total de todos los sectores, es decir

$$D_T = \sum_{j=1}^{m} D_j$$

Los coeficientes de costo (CF_{ij}) fueron calculados como una función del — tiempo de recorrido (T_{ij}), de un factor de costo de hora-hombre consumida.

(HH_{ij}), y de los gastos por transporte (CT_{ij}), es decir:

$$CF_{ij} = f\ (T_{ij},\ HH_{ij},\ CT_{ij}).$$

En una segunda etapa se llevó a cabo la asignación de valores a los diferentes parámetros que forman parte del modelo. Resulta adecuado señalar aquí algunas de las consideraciones que fueron tomadas en cuenta en la cuantificación de dichos parámetros. Para efectos del modelo se puede considerar indistintamente el sentido del movimiento de pacientes del CAM al sector o viceversa. En este caso se establecio por conveniencia para el manejo del modelo, a los CAM como origenes del mismo. Por otra parte, se considera que la oferta es igual a la capacidad funcional de todos los CAM en la Delegación, expresada en el número de consultas que pueden ofrecer mensualmente, es decir que la capacidad (O_i) es función del número de médicos ——

(NM_i) y un factor de consultas por hora (FCH_i) que puede ofrecer un médi— co; expresado de otra manera se dice que:

$$O_i = f\ (NM_i, HM_i, FCH_i)$$

d).- CRITERIOS APLICADOS

En primer lugar se procedió a la división de la Delegación en áreas con — igual densidad de población de acuerdo al siguiente criterio:

Se tomaron en cuenta los datos de población de once zonas en la Delegaci Se calculó la densidad de población de cada zona considerando la superfi— cie real habitada, es decir, se descontaron de la superficie total las zo- nas deshabitadas, tales como áreas verdes, aeropuerto, áreas industriales- o comerciales que en conjunto representan el 40% de la superficie total. - Con esta información se pude dividir la Delegación en cuatro áreas de den- sidad de población homogénea. (Fig. Nº. 2).

En segundo lugar, se ubicaron las rutas de transporte para reconocer las - que son comunes a los núcleos de densidad de población homogénea (Fig. Nº 3)

Y por último se efectuó un análisis socioeconómico que permitió dividir a- la Delegación en tres diferentes estratos socioeconómicos (Fig. Nº. 4). — Suponiendo estos tres datos, se diseñó una nueva sectorización (Fig. nº 5). Básicamente sólo resta hasta este punto, determinar la demanda de servi— cios expresada en número de consultas requeridas mensualmente por la po— blación. Para tal efecto se descontó de la población de cada elemento de la nueva sectorización, aquella que estaba asegurada y aquella que, por su po-

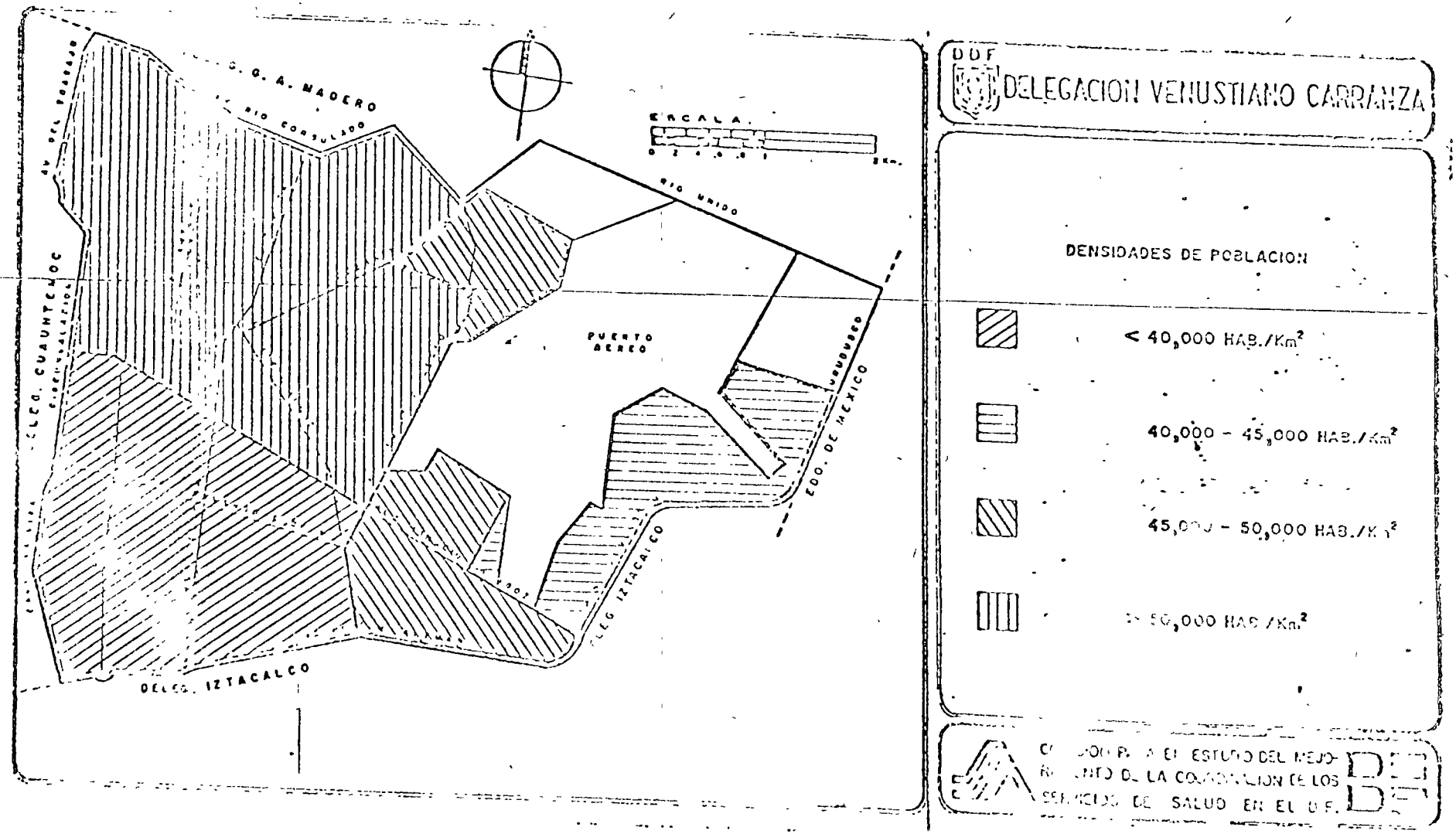

D.D.F.
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA
ESCALA
0 1 2 3 4 5 Km.
G. A. MADERO
RIO CONSULADO
RIO NUEVO
PUERTO AERCO
DELG. CUAUHTEMOC
EDO. DE MEXICO
DELG. IZTACALCO
DELEGACION IZTACALCO
DENSIDADES DE POBLACION
< 40,000 HAB./Km²
40,000 - 45,000 HAB./Km²
45,000 - 50,000 HAB./Km²
> 50,000 HAB./Km²

FIGURA 2.

53

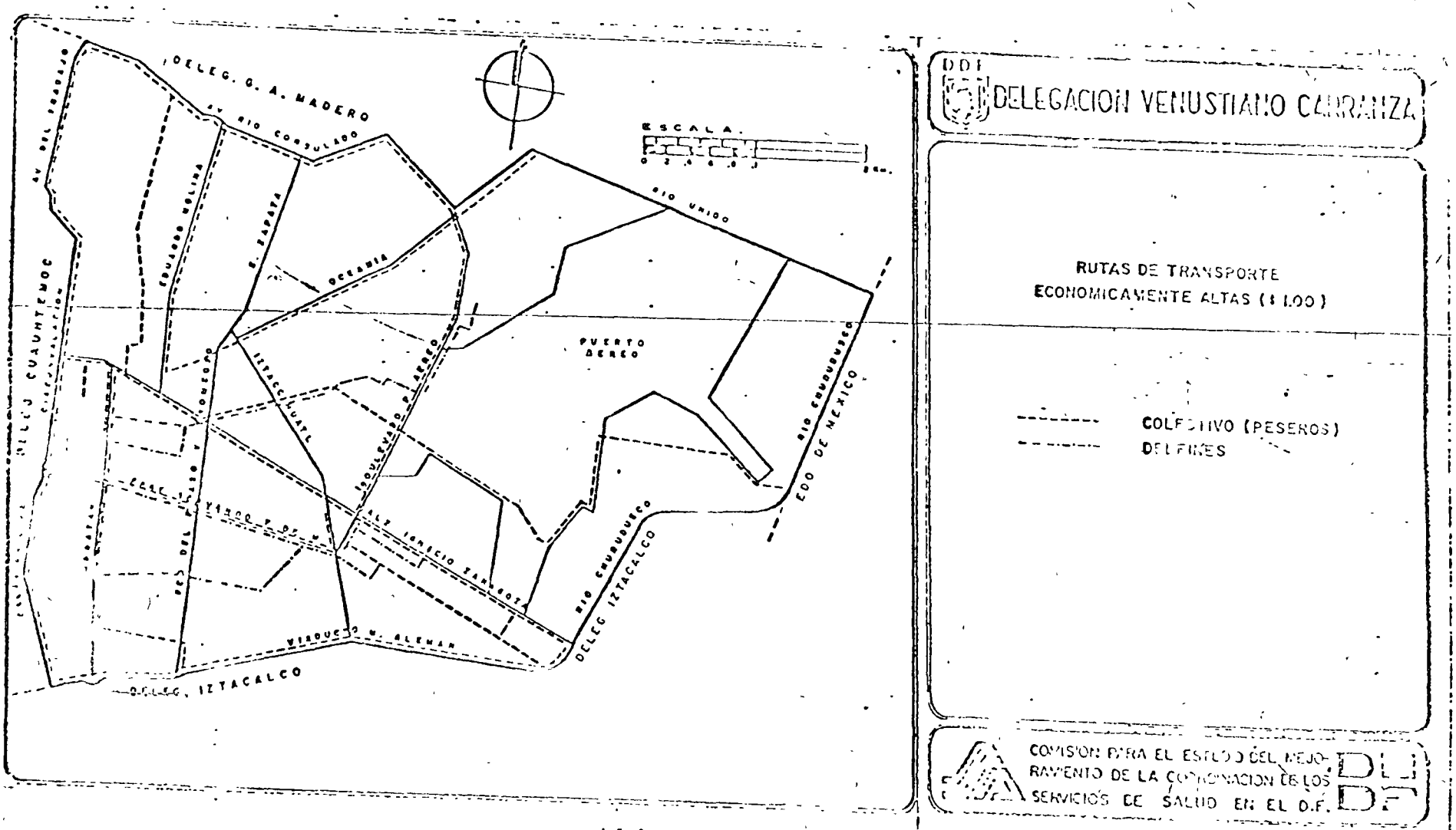
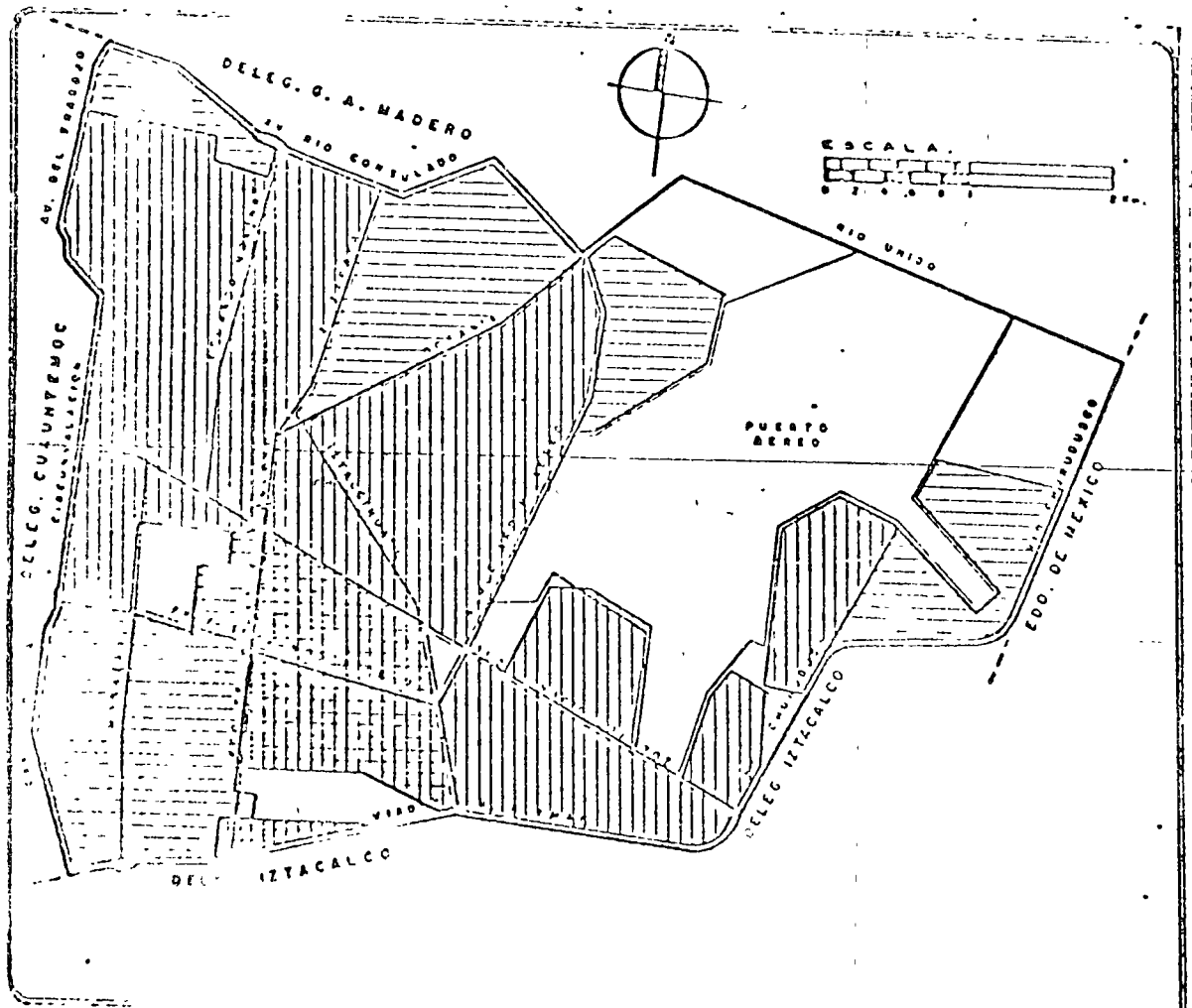

DELEG. G. A. MADERO
AV. RIO CONSULADO
AV. DEL TRABAJO
EDUARDO MOLINA
C. ESPAÑA
OCEANIA
RIO UNICO
PUERTO AEREO
RIO CHURUBUSCO
EDO DE MEXICO
DELEG CUAUHTEMOC
CIRCUNVALACION
CONSULADO
IZTACCIHUATL
CANAL DEL NORTE
CANAL DEL NORTE
AV. IGNACIO ZARAGOZA
VIADUCTO M. ALEMAN
DELEG. IZTACALCO
DELEG IZTACALCO
ESCALA
DDF
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA
RUTAS DE TRANSPORTE
ECONOMICAMENTE ALTAS (1:100)
COLECTIVO (PESEROS)
DEL FIRES
COMISION PARA EL ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LA COORDINACION DE LOS SERVICIOS DE SALUD EN EL D.F.
DF

FIGURA 3



FIGURA

D.D.F.

DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA

ZONIFICACION POR ESTRATOS SOCIO-ECONOMICOS

INGRESOS MENSUALES PROMEDIO POR FAMILIA

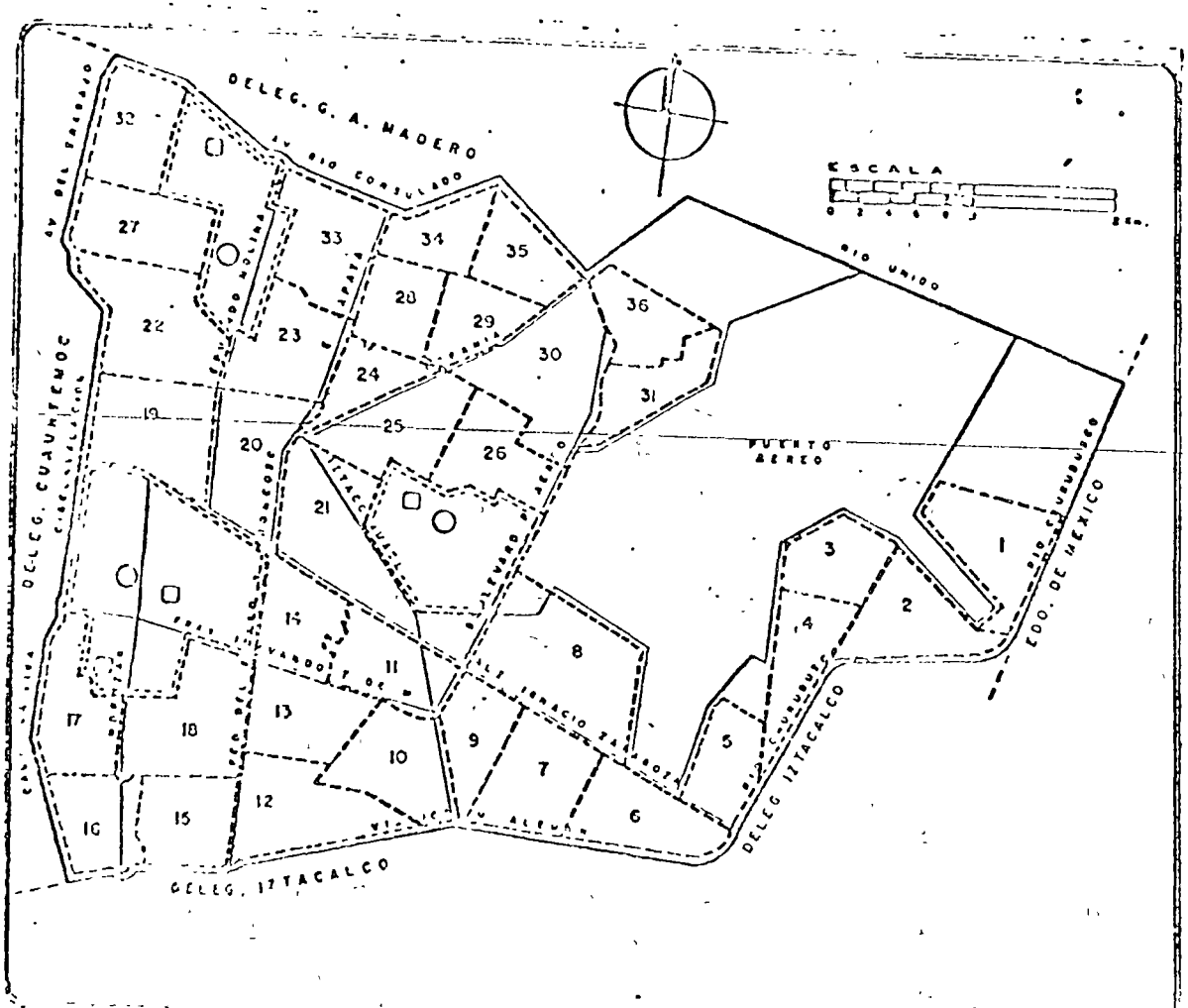
DE $ 500.00 a $ 999.00 BAJA

DE $ 1000.00 a $ 2499 MEDIA

DE $ 2500.00 a $ 4999 ALTA

COMISION PARA EL ESTUDIO DEL MEDIO AMBIENTE Y LA COORDINACION DE LOS SERVICIOS DE SALUD EN EL D.F.

D.D.F.



DDF

DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA

PROPUESTA DE ZONIFICACION POR SECTORES DE SALUD

(SOLUCION POR COMPUTADORA)

Areas circundantes a los Centros de Atención Médica (Compromiso)

n — Sector de Salud n

Centro de Salud S.S.A.

Hospital del D.D.F.

COMISION PARA EL ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LA COORDINACION DE LOS SERVICIOS DE SALUD EN EL D.F.

FIGURA 5

tencial económico utilizaría los servicios médicos particulares.

Con el dato de la población a servir y la media de las consultas requeridas por habitante, se calculó la demanda de cada sector.

f).- ALTERNATIVAS DE SOLUCION

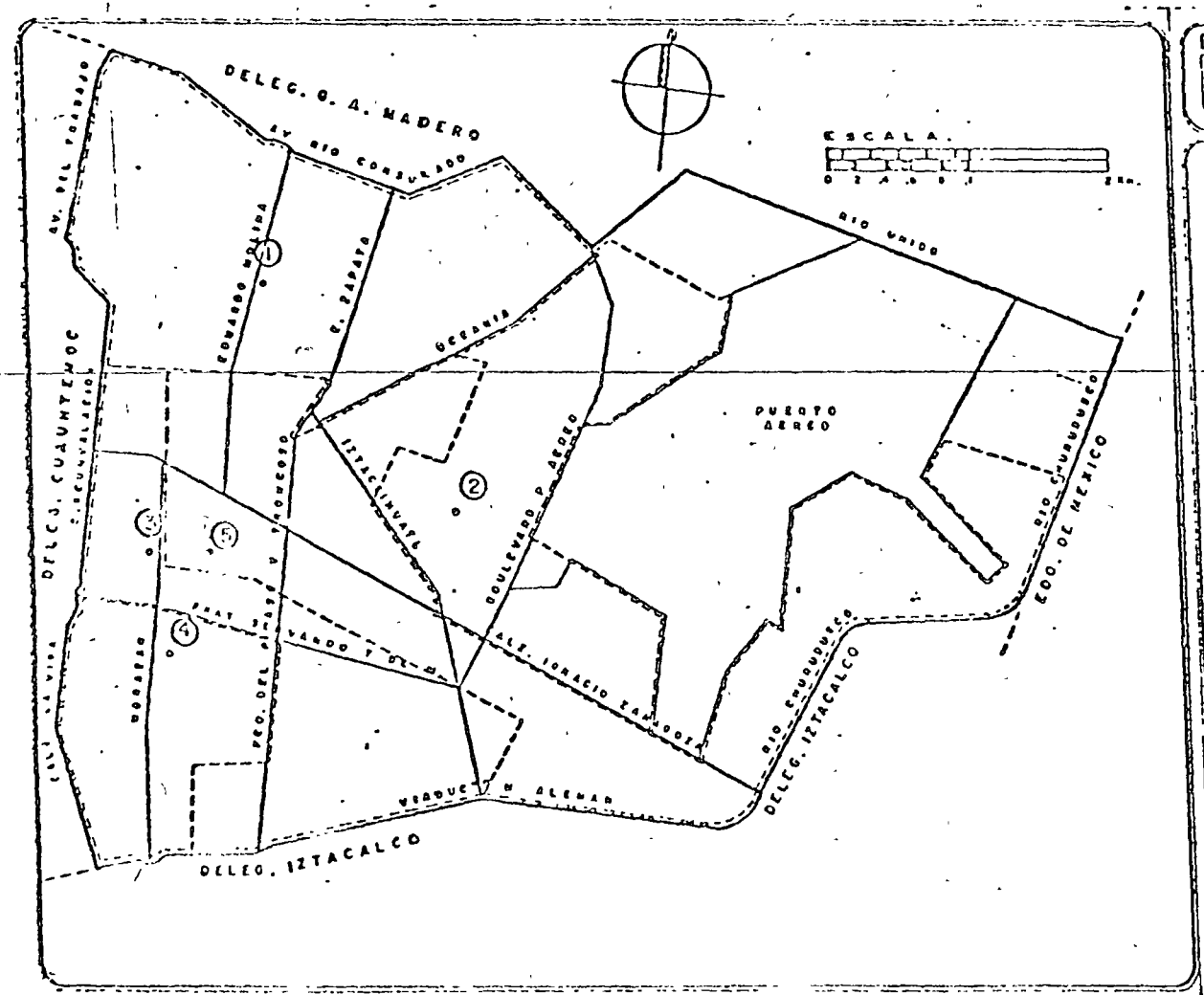
A continuación se presentan cinco de las alternativas de solución que se obtuvieron, con su respectivo análisis.

- PRIMERA ALTERNATIVA (Fig. Nº. 6).

Se considera que no hay posibilidad de incremento en los recursos, es decir, que los establecimientos seguirán prestando sus servicios con las características actuales. En este caso sólo se busca una mejor asignación de áreas de influencia y una adecuada coordinación entre los CAM. Sólo se ha considerado en esta zonificación los establecimientos que prestan servicios de medicina general a nivel consulta externa. El parámetro que señala el costo total de transporte adquiere en esta solución su valor más alto, es decir, que alcanza su objetivo con menor efectividad que las otras alternativas (Fig. Nº 6).

- SEGUNDA ALTERNATIVA (Fig. Nº. 7).

No varía la ubicación de los establecimientos, pero sí requiere de una ampliación de recursos en los servicios de consulta externa de los Hospitales Infantiles, de modo que puedan prestar servicios de medicina general. La consulta pediátrica debe contar con el 40% de los recursos totales. Dado -



DDF

DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA

ALTERNATIVA Nº I

ZONIFICACION SIN CONSIDERAR AMPLIACION O MODIFICACION DE RECURSOS

(SOLUCION POR COMPUTADORA)

ORIGENES CONSIDERADOS:

1.- C.S. "Beatriz Velazco de Alemán" (S.S.A)
2.- C.S. "Juan Duque de Estrada" (S.S.A.)
3.- C.S. "Dr. Luis E. Ruiz" (S.S.A.)
4.- Sanatorio Nº 2 (D.D.F.)
5.- Hospital de Urgencias Balbuena (D.D.F.)

COMISION PARA EL ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LA COORDINACION DE LOS SERVICIOS DE SALUD EN EL D.F.

DDF

FIGURA 6

que es el mismo porcentaje que guarda la población infantil con respecto - al total de la población, entonces se requiere que los hospitales infantiles aumenten en 2.5 veces su capacidad total. (Fig. Nº. 7)

El costo total de transporte es menor que el de la primer alternativa, pero aún sigue siendo alto. En realidad, ésto señala que el costo de transporte no se minimiza solamente aumentando el número de establecimientos, sino que deben considerarse otros factores.

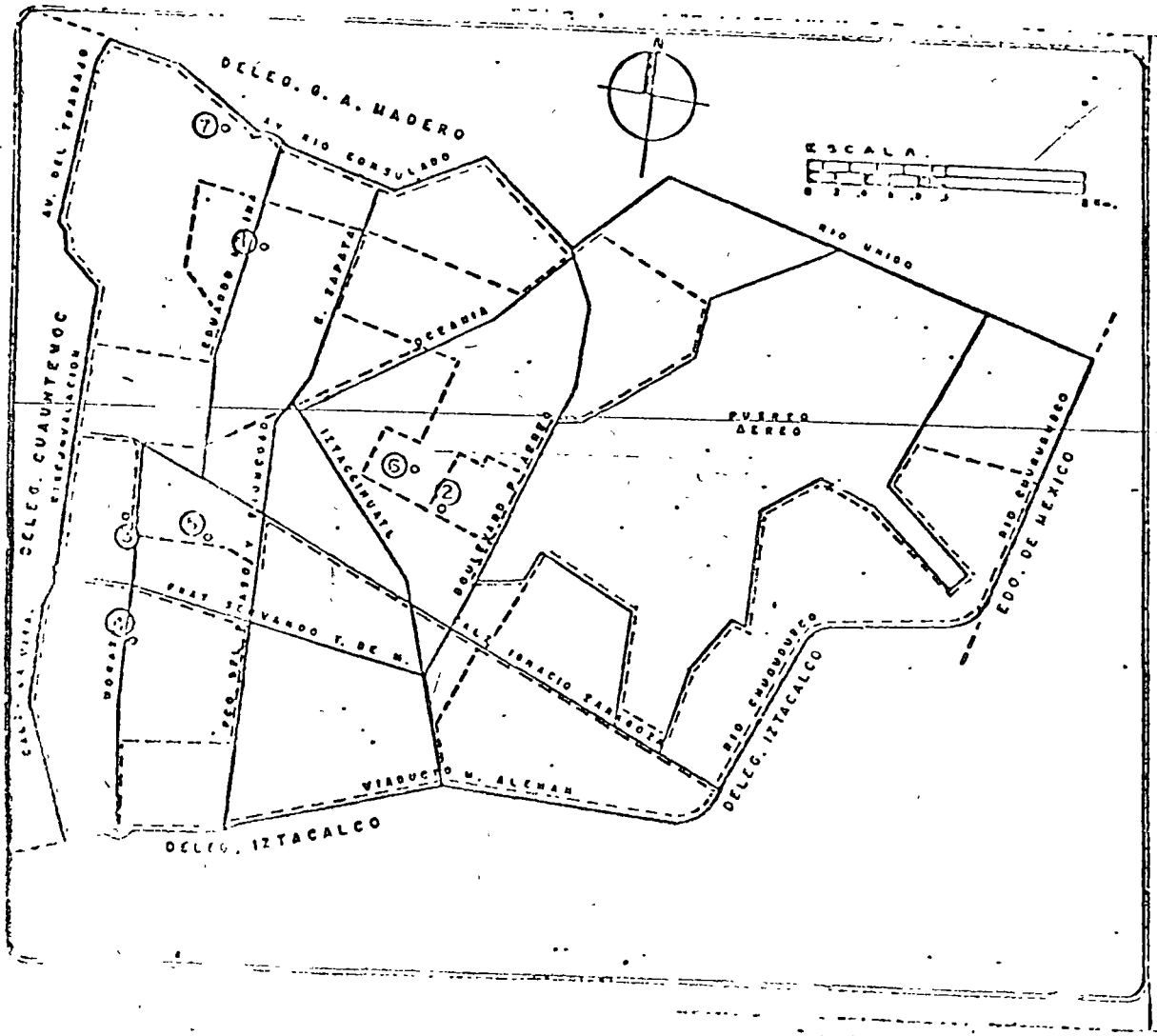
- TERCERA ALTERNATIVA (Fig. Nº. 8)

Aqui se consideran las distancias relativamente cortas que hay entre algunos de los establecimientos, puede pensarse en disponerlos como partes - componentes de una Unidad Integral de Medicina Asistencial. Por ejemplo,- se puede pensar que los CAM cercanos a un Hospital Infantil turnen su consulta pediátrica a éste, disponiendo sus recursos para ofrecer otro tipo - de servicios. Esta alternativa considera tres de estas Unidades Integrales.

El costo de los reportes de esta alternativa es menor que el de la primera, sin embargo, no es menor que el de la segunda. Al disminuirse el número de orígenes, se resuelve un problema administrativo, pero no se minimiza el — objetivo. Debe pensarse entonces en aumentar el número de centros y modificar su ubicación (Fig. Nº. 8).

- CUARTA ALTERNATIVA (Fig. Nº. 9)

Se modifica la ubicación de uno de los CAM más pequeños, buscando que la —


DELEG. G. A. MADERO
AV. RIO CONSULADO
AV. DEL TRABAJO
EJ. SAN JUAN
OCEANIA
RIO UNIDO
PUERTO AEREO
DELEG. CUAUHTEMOC
CIRCUNVALACION
EJE 3 ORIENTE
EJE 3 PTE.
EJE 1 PTE.
EJE 2 PTE.
EJE 4 SUR
EJE 5 SUR
EJE 6 SUR
EJE 7 SUR
EJE 8 SUR
EJE 9 SUR
EJE 10 SUR
EJE 11 SUR
EJE 12 SUR
EJE 13 SUR
EJE 14 SUR
EJE 15 SUR
EJE 16 SUR
EJE

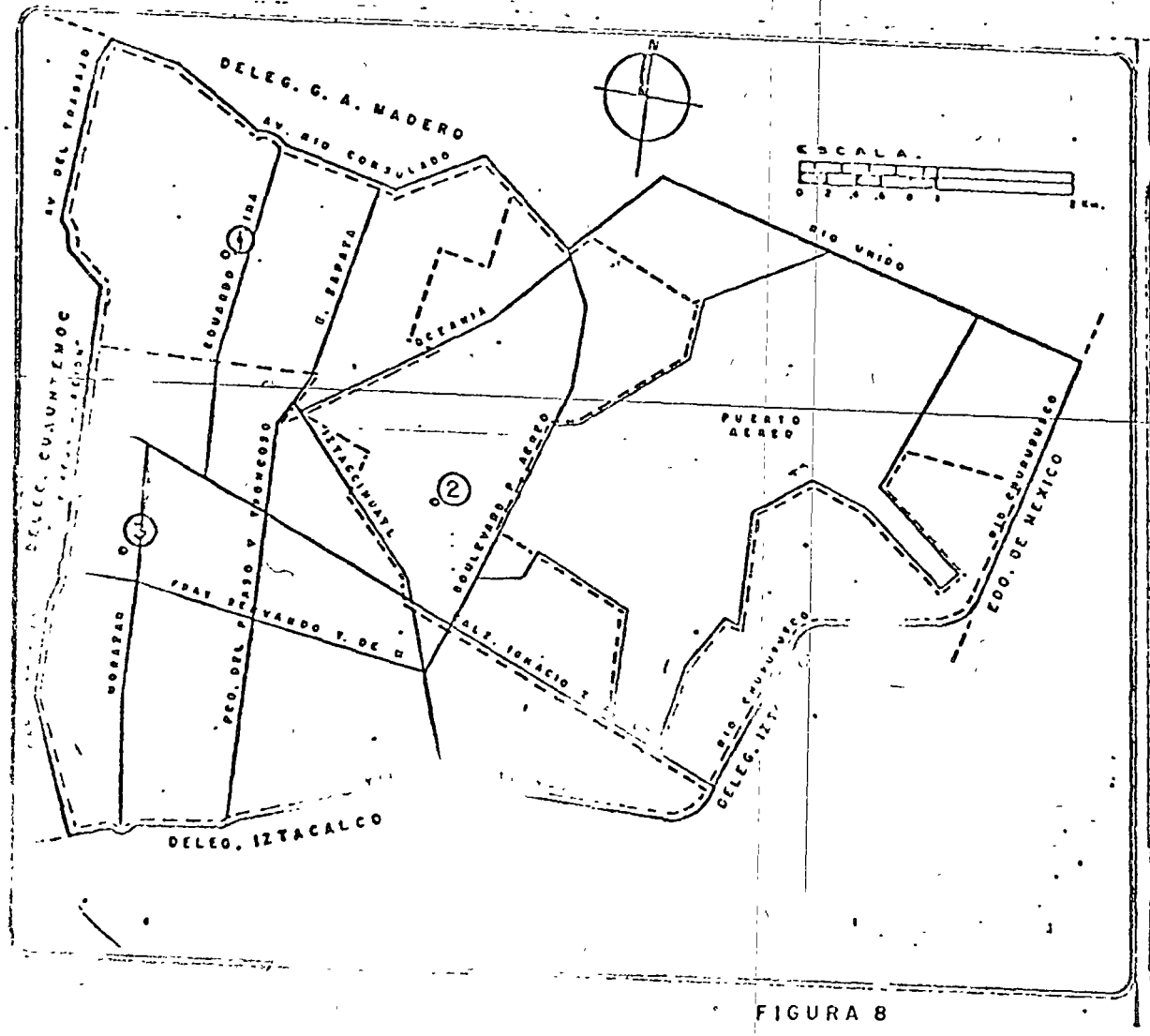


FIGURA 8

DDF

DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA

ALTERNATIVA Nº 3

ZONIFICACION CONSIDERANDO INTEGRACION DE UNIDADES MEDICAS
(SOLUCION POR COMPUTADORA)
ORIGENES CONSIDERADOS:

1.- UNIDAD MEDICA Nº 1
C.S. "BEATRIZ VELAZCO DE ALEMAN" (S.S.A.)
HOSPITAL INFANTIL DE INGUARAN (D.D.F.)
2.- UNIDAD MEDICA Nº 2
C.S. "JUAN DUQUE DE ESTRADA" (S.S.A.)
HOSPITAL INFANTIL MOCTEZUMA (D.D.F.)
3.- UNIDAD MEDICA Nº 3
C.S. "Dr. LUIS E. RUIZ (S.S.A.)
SANATORIO Nº 2 (D.D.F.)
HOSPITAL DE URGENCIAS BALBUENA (D.D.F.)

COMISION PARA EL ESTUDIO DEL NUEVO ORDENAMIENTO DE LA COORDINACION DE LOS SERVICIOS DE SALUD EN EL D.F.

DDF

inversión sea mínima. El lugar de su nueva ubicación fue seleccionado después de un cuidadoso análisis de sensibilidad y se encuentra en la zona oriente de la Delegación. Al modificar la ubicación, el costo total de transporte se redujo significativamente, siendo su valor mucho menor que el de las alternativas anteriores. Esto se logró tomando en cuenta, como factor determinante, la reubicación de los centros (Fig. Nº. 9).

- QUINTA ALTERNATIVA (Fig. Nº. 10)

Por último se considera que si se aumenta el número de CAM y se selecciona cuidadosamente su ubicación, el costo de transporte puede aún decrementarse.

Esta alternativa toma en cuenta dichos factores y considera también Unidades Integrales de Medicina Asistencial para resolver el problema administrativo.

El costo de transporte logrado en esta última alternativa es sensiblemente menor que la cuarta y mucho menor que la primera (fig. Nº. 10).

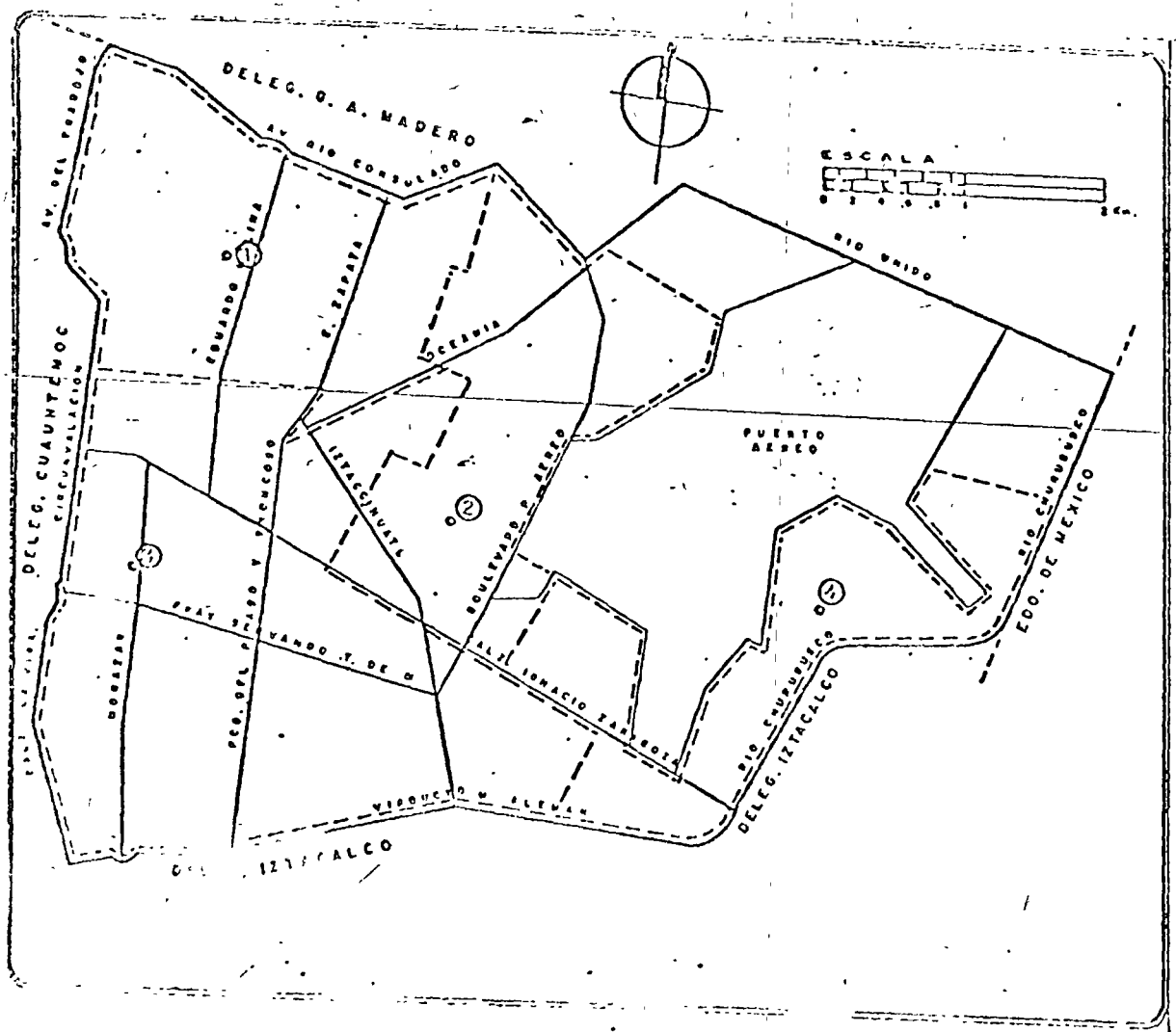


FIGURA 9

DDF

DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA

ALTERNATIVA Nº 4

ZONIFICACION CONSIDERANDO REUBICACION DE CENTROS DE ASISTENCIA MEDICA (SOLUCION POR COMPUTADORA)

ORIGENES CONSIDERADOS

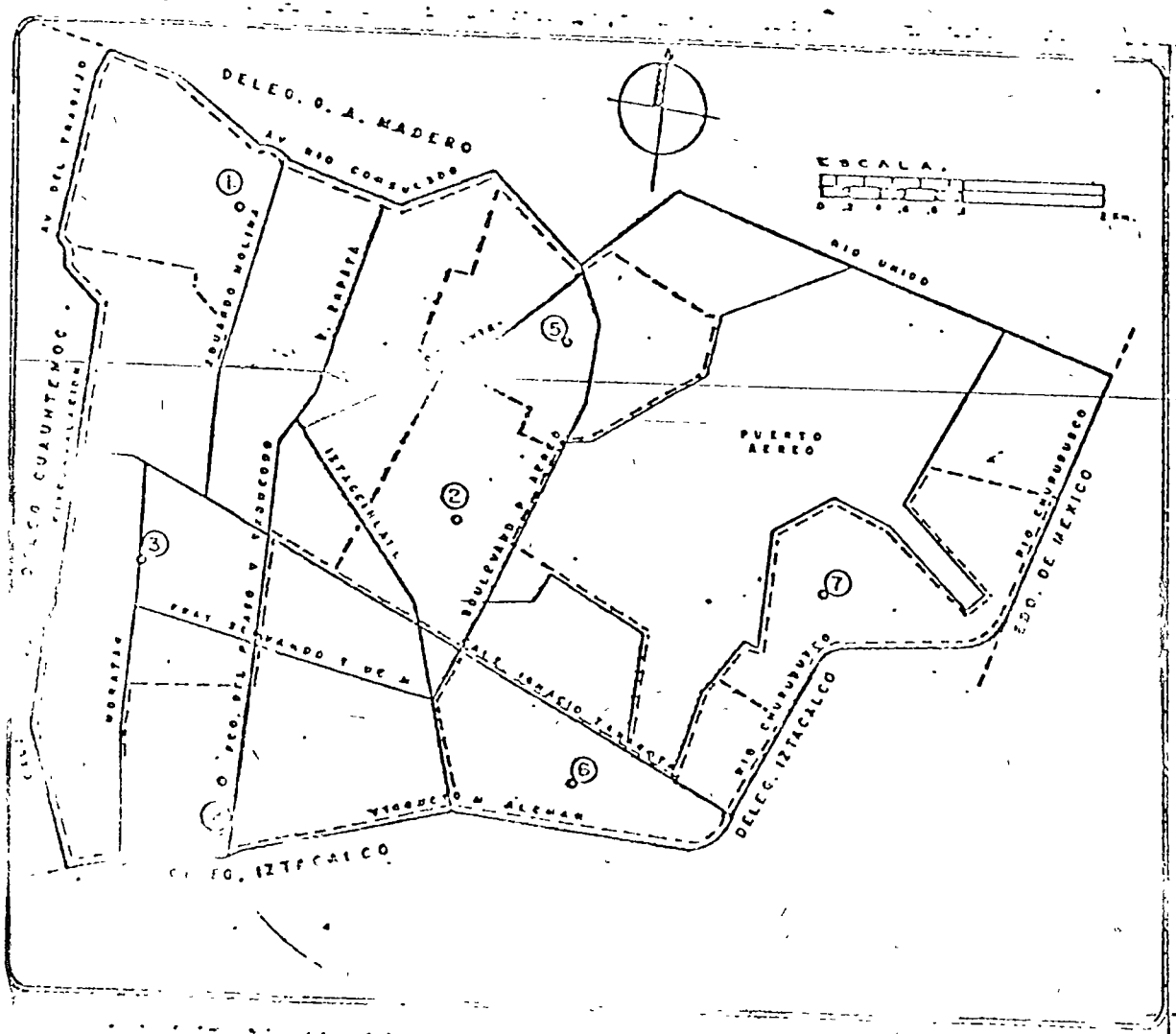
1.- UNIDAD MEDICA Nº 1
C.S. "BEATRIZ VELAZCO DE ALEMAN" (S.S.A.)
HOSPITAL INFANTIL INGUARAN (D.D.F.)

2.- UNIDAD MEDICA Nº 2
C.S "JUAN DUQUE DE ESTRADA" (S.S.A.)
HOSPITAL INFANTIL MOCTEZUMA (D.D.F.)

3.- UNIDAD MEDICA Nº 3
C.S." Dr. LUIS E. RUIZ" (S.S.A.)
HOSPITAL DE URGENCIAS BALBUENA (D.D.F.)

4.- UNIDAD MEDICA Nº 4
SANATORIO Nº 2 (D.D.F.)

COMISION PARA EL ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LA COORDINACION DE LOS SERVICIOS DE SALUD EN EL D.F.



DDF

DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA

ALTERNATIVA Nº 5

ZONIFICACION CONSIDERANDO AMPLIACION INTEGRAL DE RECURSOS:
(SOLUCION POR COMPUTADORA)

1.- UNIDAD MEDICA Nº 1
CS "BEATRIZ V DE ALEMAN" (S.S.A.)
HOSPITAL INFANTIL INGUARAN (D.D.F.)

2.- UNIDAD MEDICA Nº 2
C.S. "JUAN DUQUE DE ESTRADA" (S.S.A.)
HOSPITAL INFANTIL MOCTEZUMA (D.D.F.)

3.- UNIDAD MEDICA Nº 3
C.S. "Dr. LUIS E. RUIZ" (S.S.A.)
HOSPITAL DE URGENCIAS BALBUENA (D.D.F.)

4.- UNIDAD MEDICA Nº 4
SANATORIO Nº 2 (D.D.F.)

5.- UNIDAD MEDICA Nº 5

6.- UNIDAD MEDICA Nº 6

7.- UNIDAD MEDICA Nº 7

COMISION [illegible] ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LA COORDINACION DE LOS SERVICIOS DE SALUD EN EL D.F.

DDF

FIGURA 10

C O N C L U S I O N E S

Se ha presentado una Metodología que proporciona las bases para decidir la reubicación de los centros de Atención Médico Asistencial, así como el área de influencia en la prestación de sus servicios. Se consideran dentro de ellas las necesidades a satisfacer y los recursos con que se cuenta para el efecto. La presentación de diferentes alternativas coadyuvará a la toma de decisiones por parte de las autoridades de la S.S.A. y del D.D.F. Para el mejoramiento de los Servicios, se desarrollan paralelamente estudios exhaustivos de la asignación de recursos en los establecimientos, a fin de determinar, de una manera óptima, la distribución de los mismos en los diferentes tipos de servicio como son: (Ginecología, Pediatría, etc.) que se presentan en los centros. Asimismo se debe realizar, mediante el auxilio de la Investigación de Operaciones, estudios sobre la programación de inversiones a fin de evitar erogaciones más altas que las debidas.

Las alternativas presentadas no son las óptimas, para lograr ésto se requiere de datos más completos, fidedignos y de mayor tiempo para sujetarlos a los análisis de sensibilidad que sean necesarios. Aún con todo ésto el presente estudio cumple con su cometido señalando un camino viable y factible de seguir para la solución del problema que se ha planteado.

Por último, en este estudio se ha presentado la propuesta inicial y se harealizado en un distrito sanitario, pero se puede considerar que deberá tener proyección a nivel nacional, tomando en cuenta las variaciones propias del problema.

I.3.-, CALCULO DE LA ESPERANZA DE VIDA USANDO UN COMPUTADOR DIGITAL

El presente estudio muestra una de las tantas aplicaciones que pueden presentarse con el auxilio de las técnicas de la computación electrónica, para la obtención de resultados que sean de utilidad para el usuario, el cual tiene a su cargo la elaboración de cuadros estadísticos para el cálculo de la esperanza de vida, en base a censos sobre población en la República Mexicana y a la Boleta de Registro Civil, que contiene en número las defunciones acaecidas en las distintas Entidades Federativas.

Para llevar a cabo este control se realizaban una serie de pasos preparatorios y un procedimiento manual que dificultaba la obtención de resultados confiables y oportunos.

Considerando la situación actual se diseño un sistema que permite realizar el "Cálculo de la Esperanza de Vida de la población usando un computador - Digital", y el cual proporciona elementos de juicio a las autoridades superiores para la mejor toma de decisiones.

A continuación se mencionan las variables a manejar por el computador cuando se jecutan los procedimientos y cálculos matemáticos diseñados para obtener los resultados propuestos.

NPX- Población existente en cada entidad federativa a nivel nacional, por sexo y grupo de edad.

ADX- Actas de defunción por entidad federativa a nivel nacional, por sexo y grupo de edad.

NMX- Mortalidad percápita por grupos de edad, obtenida en base a las dos variables anteriores.

NQX- Probabilidad de existencia en función de la mortalidad percápita .

LX- Valor hipotético de nacimiento, por entidad federativa o a nivel nacional.

NDX- Número de defunciones en función del valor hipotético de nacimientos por entidad federativa o a nivel nacional.

(5X+5)- Grupos de quinquenios, en función del valor hipotético de nacimientos.

E- Y por último la Esperanza de Vida por grupos de edad.

DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO UTILIZADO

1)- Como primer paso se calcula la mortalidad percápita por cada grupo de edad en función de los datos proporcionados por el usuario, que son: población existente en cada entidad federativa o a nivel nacional, por sexo y grupos de edad y las actas de defunción por entidad federativa o a nivel nacional, por sexo y grupo de edad.

2)- El segundo paso de calcular la probabilidad de existencia en función de la mortalidad percápita, dependiendo del período de edades que se trate.

3) En el tercer paso se define un valor hipotético: que el índice de mortalidad sea nulo; posteriormente, se calcula la diferencia de dicho valor hipotético, por entidad federativa o a nivel nacional, correlacionado con la variable y el número de defunciones por entidad federativa o a nivel nacional.

4) Se calculan los valores de grupos de quinquenios, para obtener los valores de los grupos de edades, partiendo del último valor obtenido de LX_{N+1}, el cual se suma al penúltimo valor de LX_{N-1} y se tiene el último valor de grupos de quinquenios.

NOTA: El procedimiento matemático para la obtención de la esperanza de de vida, fue proporcionado por el usuario.

ENTRADAS DEL SISTEMA

Los documentos de entrada del sistema son enviados por el usuario y contendrán los siguientes datos:

- Los grupos de edades que se tratarán, los cuales vienen representados por
- Población en período de un año, desglosada por grupos de edades.
- Número de actas de defunción por períodos de edades.
- Sexo al que corresponde la información
- Entidad Federativa

SALIDAS DEL SISTEMA

Se obtienen tres listados en los cuales se muestra para cada entidad federativa y nivel nacional, la esperanza de vida de cada grupo de edad especificado en los renglones. En las columnas de los listados se consignan los datos captados para cálculo y los resultados que se obtienen de cada uno de los pasos necesarios para la obtención de la esperanza de vida.

En el primer listado se consideraba únicamente el sexo masculino, por cada entidad federativa y a nivel nacional, en el segundo el sexo femenino y en el tercero se considera a ambos sexos.

De acuerdo a las necesidades planteadas, en cuanto a la problemática existente, para la obtención oportuna de la esperanza de vida por medio de un computador digital, se puede mencionar que las necesidades y objetivos del usuario, en su primera fase, fueron cumplidos.

El cálculo de la información recopilada durante un año se efectuaba normalmente por cuatro personas, terminándolo en un tiempo promedio de un mes y medio. Con el computador este tiempo se reduce a 15 minutos más el tiempo inherente a captura, preparación y verificación de resultados.

II.- APLICACIONES TECNICO-MEDICAS A TRAVES DE SISTEMAS DE INFORMACION MECANIZADOS.

En éste medio también existe la preocupación de utilizar el auxilio que- nos proporciona la informática con el fin de agilizar el proceso de la - información.

Actualmente se trata de cubrir el área administrativa en actividades como el control de personal, el control de almacenes y el control presupuestal y áreas técnicas como la planeación, la bioestadística y la Ingeniería en Salud Pública.

Para ello es necesario captar completa y detalladamente los datos, y archivarlos de una manera en que sea posible su ágil operación. Ya que sin una información fidedigna y oportuna no se puede llevar a cabo la realización de una adecuada y correcta planeación.

Es por esto que se le da principal importancia al desarrollo de sistemas- que cuantifiquen los problemas de salud que se quieren conocer y resolver, relativos a los índices morbilidad de la población, información sobre operaciones de campo, vigilancia epidemiológica, rehabilitación de inválidos, vigilancia de enfermos con cáncer, censos de las diversas instituciones - de salud, control de campañas sanitarias y asistenciales, etc. todo lo — cual permite a las autoridades correspondientes una planeación más eficiente.

Las aplicaciones que se incluyen tienen como características un conjunto- de procedimientos que apropiadamente interrelacionados se ocupan de la —

captación, generación y proceso de la información a la situación en tiempo y ubicación del enfermo, así como del tipo, causa y evolución de su padecimiento.

II.1.- EL REGISTRO NACIONAL DE INVALIDOS COMO AUXILIAR EN LA SOLUCION DE UN PROBLEMA DE SALUD PUBLICA (RENI)

El programa de generación y acción del RENI ha sido elaborado por el usuario del mismo en coordinación conjunta con el Centro de Informática con el objeto de promover en las instituciones médicas la mejor atención de los inválidos que en ellas se atienden y, con ello tratar de disminuir este problema de salud pública. (Ver Fig. 1).

OBJETIVOS DEL RENI

- Conocer la frecuencia de los casos de invalidez atendidos en los establecimientos de salud y educación especial en el país.
- Conocer las características epidemiológicas de los casos de invalidez estudiando su etiología, evolución y rehabilitación (Ver Fig. 2).

Para llevarse a cabo estos objetivos se requirió de los mecanismos adecuados para el efecto, mismos que se lograron alcanzar mediante las siguientes actividades:

- La estructuración a nivel mecanizado del sistema de registro y proceso de casos de invalidez notificados por los establecimientos de salud y educación especial.

LA INVALIDEZ

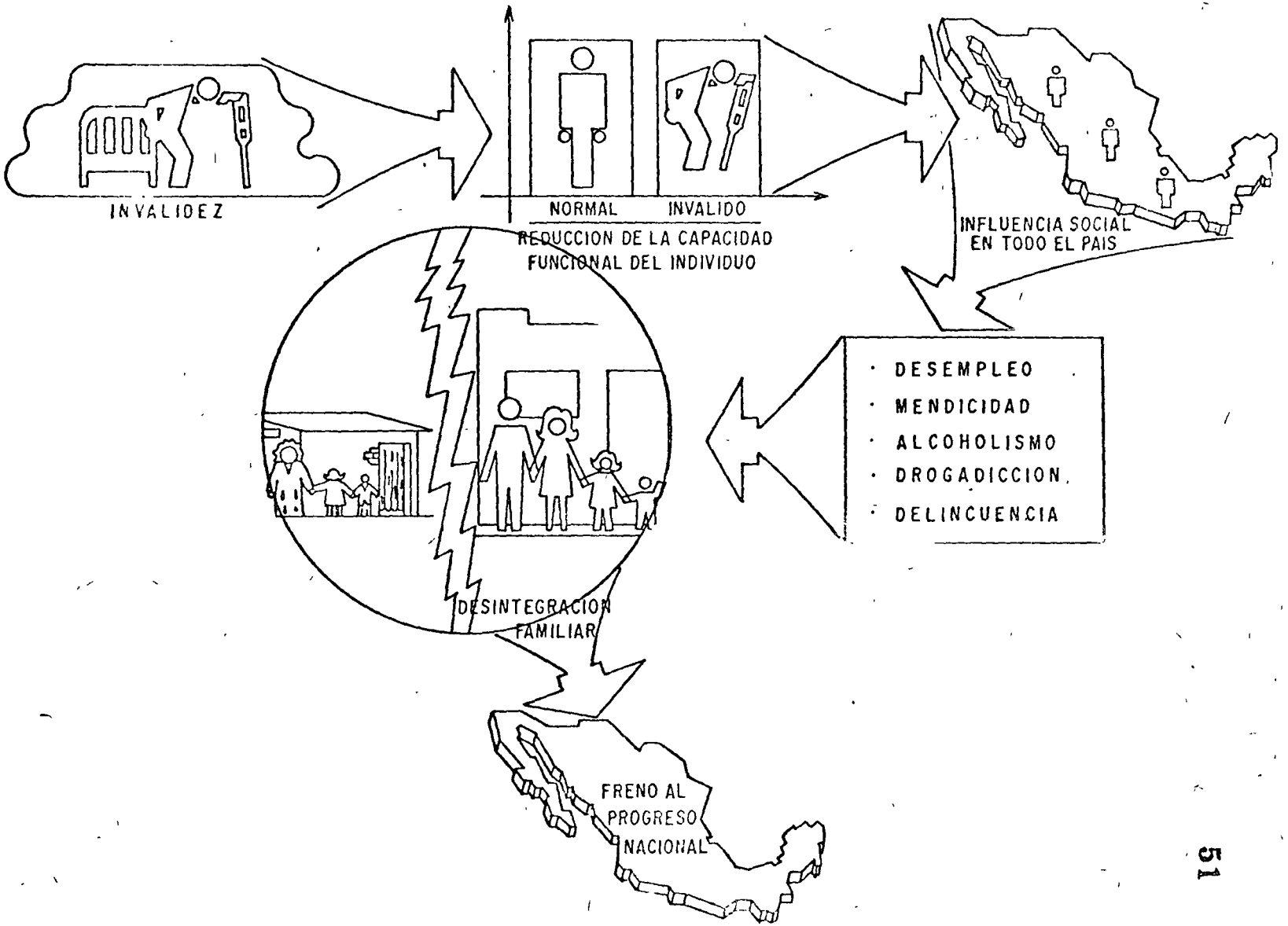


Figura . 1

LA REHABILITACION

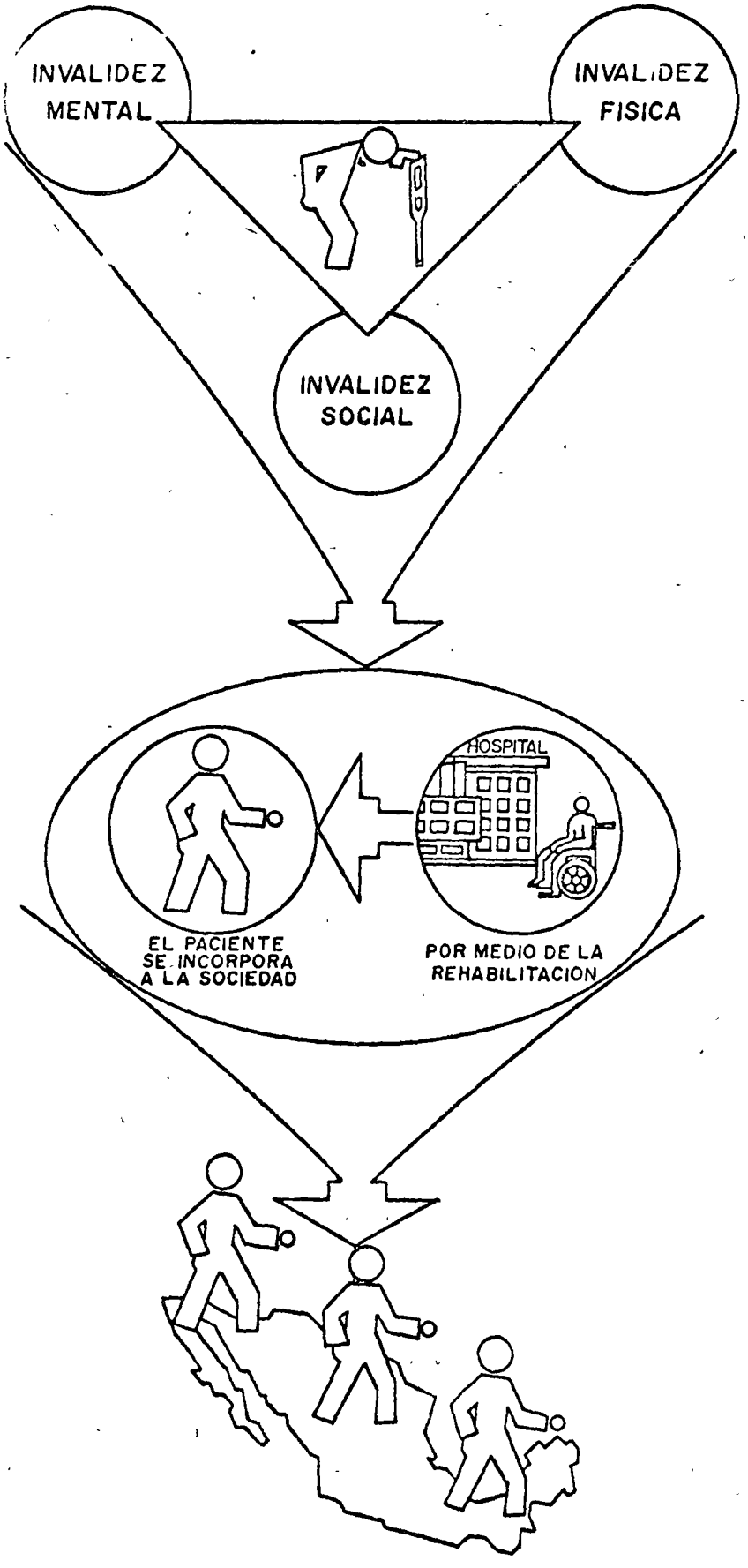


Figura 2

. Se estableció la notificación y el registro de los casos de invalidez — (Ver Fig. Nº 3).

El sistema consta esencialmente de tres partes fundamentales:

A.- CENSO DE NOTIFICANTES

Deberá entenderse por notificantes a todos aquellos establecimientos que desarrollan actividades de rehabilitación y que tienen el compromiso de registrar a los inválidos que atienden.

En esta etapa se procedió a la integración de un directorio de notificantes, mismo que sirvió como auxiliar eficaz en la comunicación entre el RENI y los establecimientos mencionados (Ver fig. Nº 4).

Con los datos obtenidos en esta primera pesquisa se procedió a la codificación de la forma RENI-01, a fin de captar esta información en dispositivos electrónicos. A estos notificantes se les envió para su conocimiento y utilización el INSTRUCTIVO GENERAL DEL REGISTRO NACIONAL DE INVALIDOS, así como información y material para su utilización (Ver Fig. 5).

B.- REGISTRO DE INVALIDOS

El registro del inválido fue realizado mediante la codificación de la forma RENI-02, en la cual se registró la siguiente información: (Ver Fig. 6).

. Identificación del inválido.

. Duración de la invalidez.

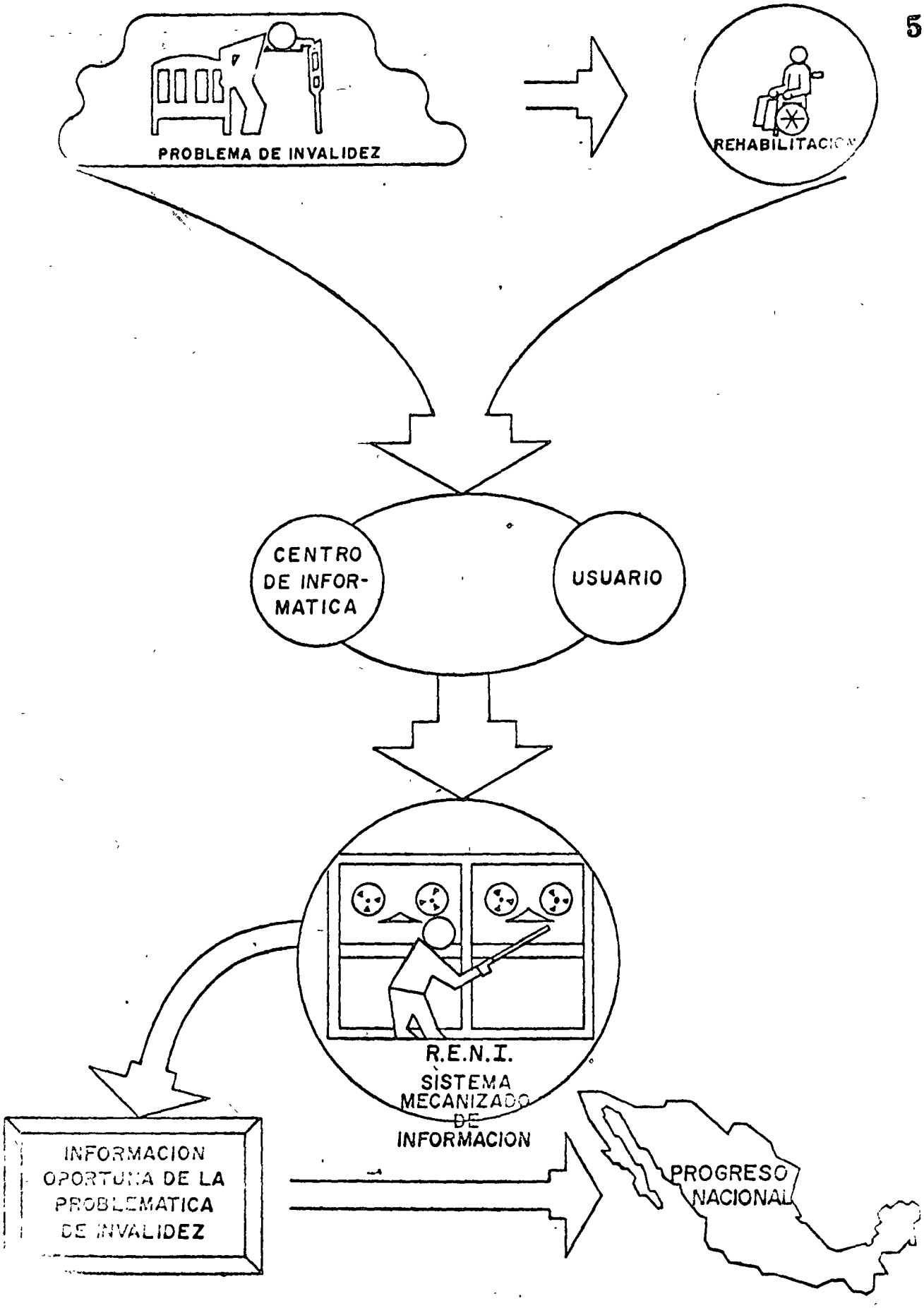

PROBLEMA DE INVALIDEZ
REHABILITACION
CENTRO DE INFOR-MATICA
USUARIO
R.E.N.I.
SISTEMA MECANIZADO DE INFORMACION
INFORMACION OPORTUNA DE LA PROBLEMATICA DE INVALIDEZ
PROGRESO NACIONAL

FIGURA 3

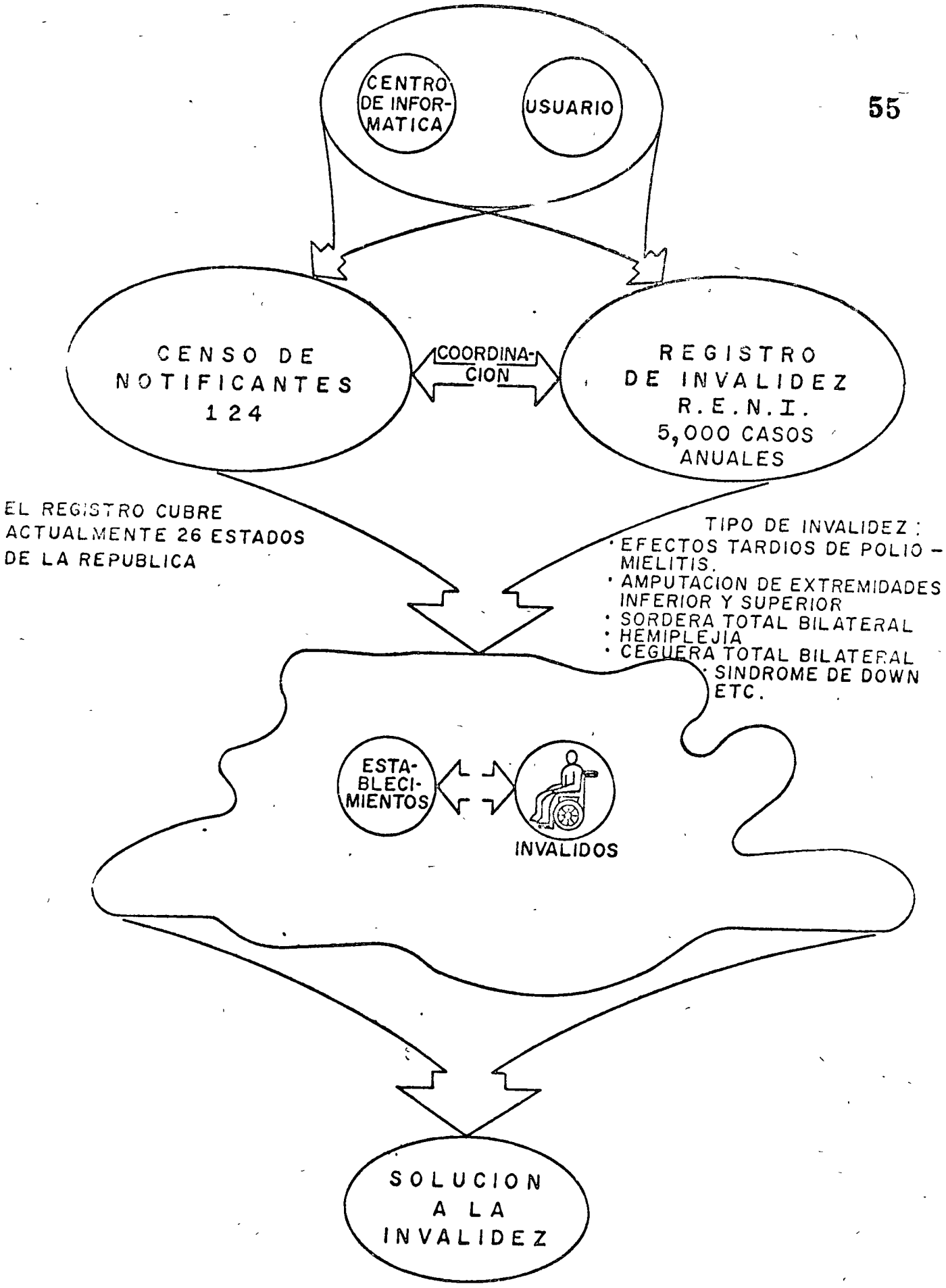

CENTRO DE INFOR-MATICA
USUARIO
CENSO DE NOTIFICANTES 124
COORDINA-CION
REGISTRO DE INVALIDEZ R.E.N.I. 5,000 CASOS ANUALES
EL REGISTRO CUBRE ACTUALMENTE 26 ESTADOS DE LA REPUBLICA
TIPO DE INVALIDEZ :
• EFECTOS TARDIOS DE POLIO - MIELITIS.
• AMPUTACION DE EXTREMIDADES INFERIOR Y SUPERIOR
• SORDERA TOTAL BILATERAL
• HEMIPLEJIA
• CEGUERA TOTAL BILATERAL
• SINDROME DE DOWN
ETC.
ESTA-BLECI-MIENTOS
INVALIDOS
SOLUCION A LA INVALIDEZ

FIGURA 4

FORMA RENI - 01

SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA
SUBSECRETARIA DE ASISTENCIA
DIRECCION GENERAL DE REHABILITACION

REGISTRO NACIONAL DE INVALIDOS

CENSO DE NOTIFICANTES :

NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO
6 10 20 30 40

CONTINUA NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO
43 50 60 70 79

DOMICILIO POSTAL
6 10 20 30 40

LOCALIDAD, MUNICIPIO Y ENTIDAD FEDERATIVA
43 50 60 70 79

PARA USO EXCLUSIVO DEL R E N I

CLAVE DEL ESTABLEC 1

INSTITUCION A QUE PERTENECE 6

CODIGO DE MUNICIPIO 8

TIPO DE ESTABLECIMIENTO :
1 - DE REHABILITACION SOMATICA
2 - DE REHABILITACION PSICOLOGICA
3 - DE REHABILITACION SOCIAL
4 - DE REHABILITACION OCUPACIONAL
11

SEÑALE CON UNA CRUZ EL TIPO DE SERVICIOS QUE PRESTA A LOS INVALIDOS

- DIAGNOSTICO MEDICO	12	- TERAPIA PSICOFARMACOLOGICA	18	- EDUCACION ESPECIAL	24
- DIAGNOSTICO PSICOLOGICO	13	- SERVICIO DE PSICOTERAPIA	19	- VALORACION DE APTITUDES	25
- DIAGNOSTICO SOCIOECONOMICO	14	- SERVICIO DE SOCIOTERAPIA	20	- ORIENTACION VOCACIONAL	26
- TERAPIA FISICA	15	- TALLER DE PROTESIS Y ORTESIS	21	- CAPTACION PARA EL TRABAJO	27
- TERAPIA OCUPACIONAL	16	- TALLER DE ADIESTRAMIENTO	22	- COLOCACION LABORAL	28
- TERAPIA DEL LENGUAJE	17	- AUXILIARES DE LAB. Y GABINETE	23	- EMPLEO DE INVALIDOS	29

TIPO DE ATENCION :
1 - EXTERNA
2 - HOSPITALIZACION
30

ESPECIFIQUE EL NUMERO DE PACIENTES INVALIDOS QUE PUEDE ATENDER ANUALMENTE
31

NOMBRE DEL RESPONSABLE

ENTIDAD FEDERATIVA
35

FIRMA DEL RESPONSABLE

FIGURA 5

FORMA RENI - 02 57

SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA
SUBSECRETARIA DE ASISTENCIA
DIRECCION GENERAL DE REHABILITACION

REGISTRO NACIONAL DE INVALIDOS

PARA USO EXCLUSIVO DEL RENI	
CLAVE GENERAL ESTABLEC.	FOLIO

REGISTRO DEL INVALIDO :

APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO	NOMBRE	EDAD	SEXO
			AÑOS	1. MASC 2 FEM

10 20 30 40 48 61

FECHA NACIMIENTO						DOMICILIO (CALLE NUMERO Y COLONIA)
AÑO		MES		DIA		

52 54 56

LOCALIDAD	Z.P	MUNICIPIO	ENTIDAD FEDERATIVA

58

DURACION DE INVALIDEZ	DIAGNOSTICO
AÑOS MESES	

60 62

TRABAJO ANTERIOR A LA INVALIDEZ : 64 TRABAJO ACTUAL : 66

01 - CAMPESINO 04 - TECNICO 07 - COMERCIANTE 10 - OTRAS
02 - OBRERO 05 - PROFESIONISTA 08 - ESTUDIANTE 11 - SIN OCUPACION
03 - EMPLEADO 06 - ARTESANO 09 - LAB DOMESTICAS 12 - SE IGNORA

PARA USO EXCLUSIVO DEL RENI

M.NIC.	E.F.	DIAGNOS

68 71 76

CAUSA DE INVALIDEZ : 77

1 - DE NACIMIENTO
2 - ACCIDENTAL
3 - POR ENFERMEDAD

GRADO MAXIMO DE ESTUDIOS : ULTIMO AÑO 78 DEL CICLO : 79

1 - ANALFABETO
2 - PRIMARIA
3 - SECUNDARIA
4 - COMERCIO
5 - VOCACIONAL O PREPARATORIA
6 - SUBPROFESIONAL O TECNICA
7 - PROFESIONAL
8 - POSTGRADO
9 - OTROS

GRADO DE INVALIDEZ : 00

1 - LEVE
2 - MEDIANA
3 - SEVERA

ESTADO CIVIL : 10

1 - SOLTERO
2 - CASADO
3 - OTRO

ES DERECHOHABIENTE DE : 11

1 - I.M.S.S.
2 - I.S.S.S.T.E
3 - S.S.A.
4 - OTROS

NUMERO DE INVAL. DECES 14

NOMBRE DEL RESPONSABLE DEL LLENADO DE LA FORMA

FECHA DIA MES AÑO

12 16 17

PIRMA DEL RESPONSABLE DEL LLENADO DE LA FORMA

* COLOQUE EN LA CASILLA EL NUMERO CORRESPONDIENTE DEL CODIGO EXPUESTO

FIGUR.

SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA
SUBSECRETARIA DE ASISTENCIA
DIRECCION GENERAL DE REHABILITACION

FORMA RENI-03

5F

REGISTRO NACIONAL DE INVALIDOS

ESTABLECIMIENTO NOTIFICANTE

FECHA

HOJA No. DE

REPORTE DE EVOLUCION

CLAVE

NOMBRE DEL PACIENTE

ALTA POR

ALGUNO DE LOS SIGUIENTES MOTIVOS
- SER DEPENDIENTE 10
- DESERCION 11
- FALLECIMIENTO 12

CONCLUIR SU REHABILITACION CON INDEPENDENCIA EN SUS ACTIVIDADES PERSONALES DE UNA MANERA
- TOTAL 13
- PARCIAL 14

INCORPORARSE A LA ESCUELA .
- DE EDUCACION ESPECIAL 15
- REGULAR 16

INCORPORARSE AL TRABAJO .
- EMPRESA REGULAR 17
- POR SU CUENTA 18
- TALLER PROTEGIDO 19
- SUBEMPLEO 20

CONTINUA EL PROCESO DE REHABILITACION :
- FISICA 21
- SOCIAL 22
- PSICOLOGICA 23
- OCUPACIONAL 24

SEGUIMIENTO DEL CASO

CONTINUA SU REHABILITACION FISICA CON PERIODICIDAD
- ANUAL 25
- MENSUAL 26

CONTINUA INCORPORADO A LA ESCUELA
- SI 27
- NO PORQUE CONCLUYO 28
- NO PORQUE DESERTO 29

CONTINUA INCORPORADO AL TRABAJO
- SI 30
- NO POR RECHAZO DE LA EMPRESA 31
- NO POR DESAJUSTE AL MED. LABORAL 32

SE PERDIO CONTACTO 33

CLAVE

NOMBRE DEL PACIENTE

ALTA POR

ALGUNO DE LOS SIGUIENTES MOTIVOS
- SER DEPENDIENTE 10
- DESERCION 11
- FALLECIMIENTO 12

CONCLUIR SU REHABILITACION CON INDEPENDENCIA EN SUS ACTIVIDADES PERSONALES DE UNA MANERA.
- TOTAL 13
- PARCIAL 14

INCORPORARSE A LA ESCUELA .
- DE EDUCACION ESPECIAL 15
- REGULAR 16

INCORPORARSE AL TRABAJO :
- EMPRESA REGULAR 17
- POR SU CUENTA 18
- TALLER PROTEGIDO 19
- SUBEMPLEO 20

CONTINUA EL PROCESO DE REHABILITACION
- FISICA 21
- SOCIAL 22
- PSICOLOGICA 23
- OCUPACIONAL 24

SEGUIMIENTO DEL CASO

CONTINUA SU REHABILITACION FISICA CON PERIODICIDAD
- ANUAL 25
- MENSUAL 26

CONTINUA INCORPORADO A LA ESCUELA
- SI 27
- NO PORQUE CONCLUYO 28
- NO PORQUE DESERTO 29

CONTINUA INCORPORADO AL TRABAJO
- SI 30
- NO POR RECHAZO DE LA EMPRESA 31
- NO POR DESAJUSTE AL MED. LABORAL 32

SE PERDIO CONTACTO 33

FIGURA 7

. Diagnóstico médico

. etc.

C.- REPORTE DE EVOLUCION

La diferencia básica entre una mera notificación de inválidos, que determina cuántos casos se encontraron en lugar y fecha determinados, y un registro permanente, es que este último los sigue en su evolución como algo dinámico que se debe estudiar (Ver Fig. 7).

PROCESO ELECTRONICO DE DATOS

En esta primera etapa se ha realizado el registro de cada caso apegado en métodos propios del enfoque sistemático y de manejo de proyectos y se ha vertido la información a dispositivos propios del sistema de cómputo, por lo que se está en condiciones de interrelacionar datos según convenga para fines de análisis y estudio, a fin de obtener información que ubique el problema respecto a sus características particulares.

Los resultados que se obtienen permiten interrelacionar datos tales como:

LISTADO DE CASOS POR DIAGNOSTICO Y GRUPOS DE EDAD, POR DIAGNOSTICO SEGUN CAUSA Y GRADO DE INVALIDEZ POR GRUPOS DE EDAD, SEXO Y NUMERO DE INVALIDECES POR GRUPOS DE EDAD Y ESTADO CIVIL, ETC.

El sistema actualmente cubre 26 estados de la República Mexicana, y recibe información de 124 instituciones médicas relacionadas con la rehabilitación de inválidos. Dado que la implantación nacional del RENI es reciente se tiene el control de 7,000 casos, y se estima un índice anual de crecimiento de 5,000.

II.2.- CREACION DE UN REGISTRO NACIONAL DE ENFERMOS CON CANCER (RENEC)

Está demostrado por estudios semejantes realizados en otros países, que la oportuna identificación de los factores causantes del cáncer, permite reducir considerablemente la mortalidad en este renglón.

Lo expuesto anteriormente, condujo a desarrollar un proyecto en el cual se contemplara un Registro Nacional de Enfermos con Cáncer para mantener en forma actualizada todas las características individuales que, desde el punto de vista médico, sean necesarias para controlar a los pacientes; siendo sus objetivos, no únicamente dar un número y abrir un expediente para cada enfermo, sino establecer una organización capaz de mantener un control del cáncer a través de la relación médico-paciente.

Como una unidad independiente para el conocimiento del problema del cáncer, el RENEC auxilia a las autoridades responsables a cumplir con los objetivos siguientes:

- Registrar a todos los enfermos con cáncer en el país.
- Conocer la distribución geográfica de los paciente.
- Obtener información para estimar la frecuencia de los distintos tipos de cáncer en determinadas regiones anatómicas.
- Valorar la eficiencia de los tratamientos empleados.
- Evaluar la evolución de la enfermedad en los pacientes.
- Lograr la normalización de los procedimientos y tratamientos más eficientes para su aplicación masiva.

- Proporcionar la información de soporte para la investigación anticancerosa en el país.
- Planificar los servicios anticancerosos.

En la fig. 1 se muestra un panorama general de los recursos humanos y materiales con que se cuenta para lograr estos objetivos.

Las actividades que se describen a continuación, fueron tomadas en cuenta para el análisis de la información requerida en el estudio del cáncer en México.

- Conocer los centros oncológicos e instituciones anticancerosas en el país así como los servicios con que cuentan, personal especializado y su capacidad de servicio.
- Estudiar la relación que existe entre la función laboral que desempeña el paciente y el tipo de cáncer.
- Establecer el control de la información proporcionada por centros oncológicos e instituciones anticancerosas, para que su manejo sea oportuno.
- Detectar si algún tipo de cáncer se presenta con mayor frecuencia en regiones geográficas específicas.

Tomando en cuenta el análisis de la información para la obtención de los datos necesarios en el desarrollo de las actividades mencionadas, se procedió a su captación en dos etapas: primero, un censo de notificantes y segundo, un registro de pacientes con cáncer.

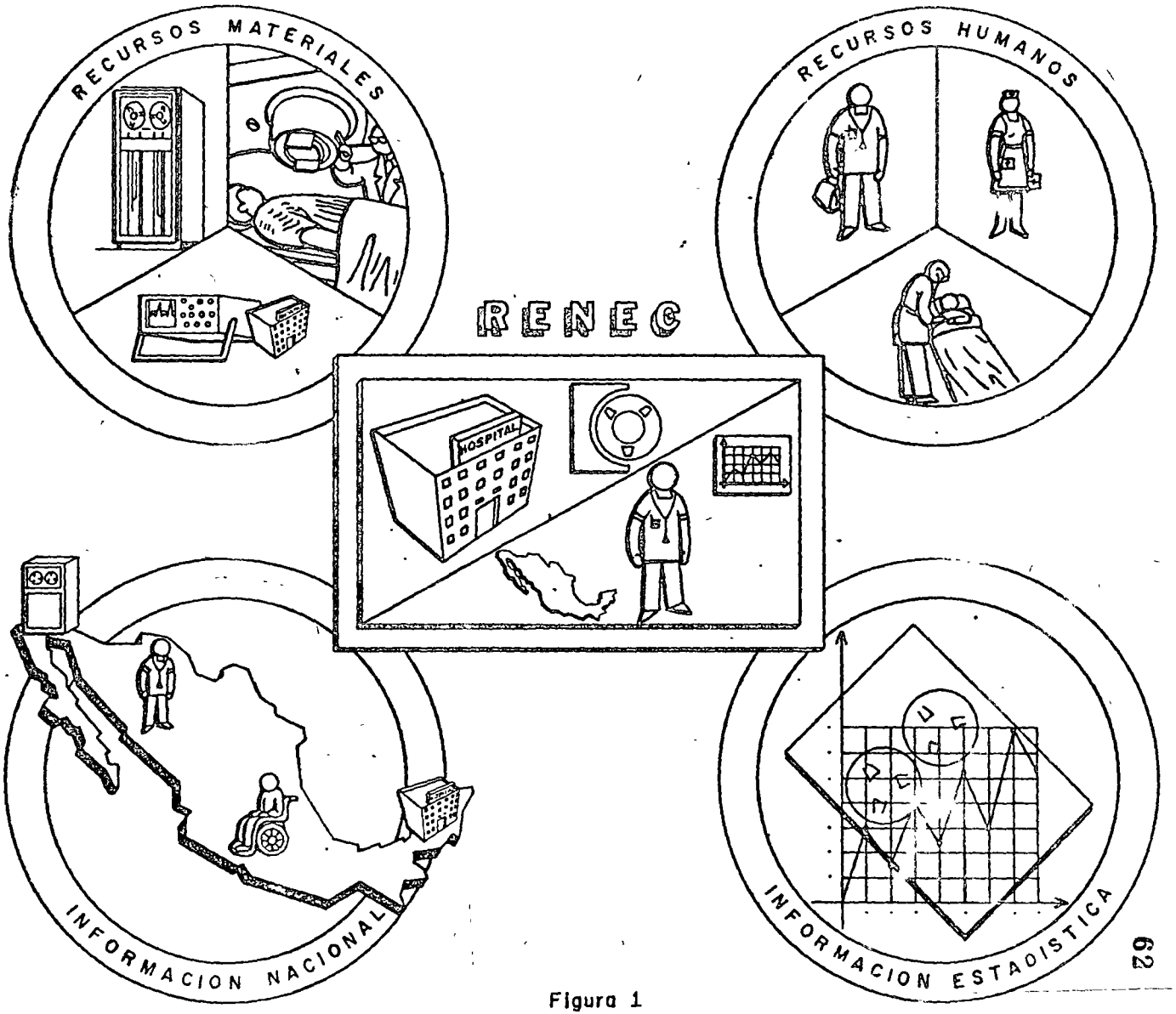

RECURSOS MATERIALES
RECURSOS HUMANOS
RENEC
HOSPITAL
INFORMACION NACIONAL
INFORMACION ESTADISTICA

Figura 1

En la forma de RENEC 00 se pueden observar los datos necesarios para quedar registrado como paciente enfermo con cáncer, la mayoría de estos datos son codificados para su fácil manejo.

Como se puede ver en la gráfica de datos estadísticos correspondientes al año de 1976, con una muestra de 1180 pacientes, el tipo de cáncer más común en las personas adultas es el CARCINOMA y el que menor se presenta en las mismas es el E. WING; en los niños el tipo más frecuente es el de LINFOMAS y los menos son el de LEUCEMIAS y RABDOSARCOMAS. (Ver Fig. 2).
En la actualidad se tienen aproximadamente 55 centros para el tratamiento del cáncer a nivel nacional, aquí se incluyen los centros Oncológicos públicos y particulares.

NUMERO DE REGISTRO

Actualmente se capturan y procesan alrededor de 1180 registros en el Distrito Federal, sin embargo las perspectivas que se tienen para el año en curso son de 2728 registros sin contar con la ampliación o volumen de información a nivel nacional.

RESULTADOS OBTENIDOS

Con los resultados que se obtuvieron se logró satisfacer las necesidades primordiales de los objetivos del RENEC.

- Listados para conocer la distribución de los pacientes por diagnóstico específico de cáncer.

MUESTRAS ESTADI..ICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CANCER QUE ATIENDE LA UNIDAD DE ONCOLOGIA DEL HOSPITAL GENERAL

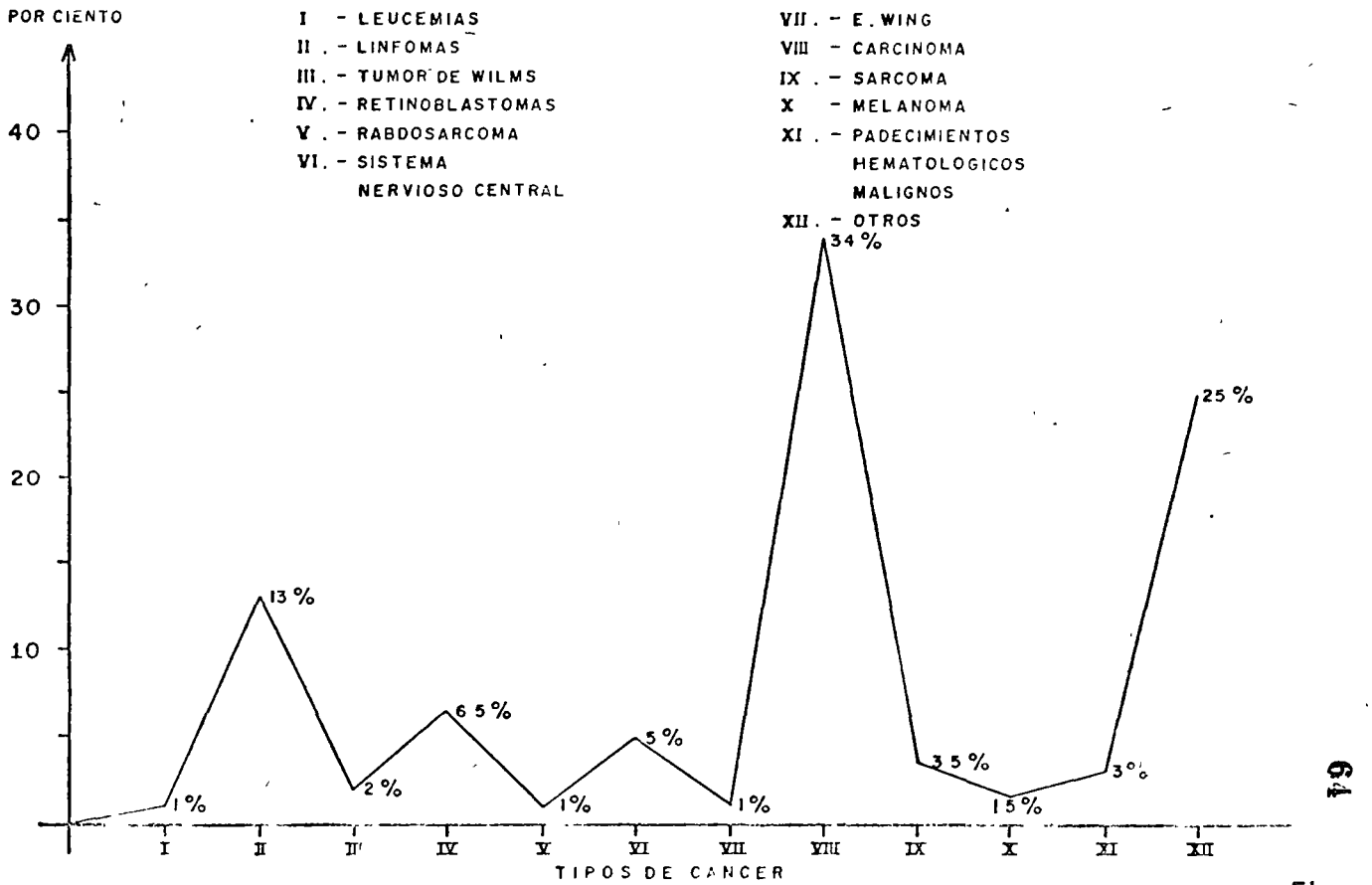


Figura 2

ACTUALMENTE SE CUENTA CO[illegible] CENTROS PARA EL TRATA[illegible]NTO DEL CANCER EN LA REPUBLICA MEXICANA
LOS DATOS ESTADISTICOS P[illegible]OS EN ESTA GRAFICA C[illegible] ESPO[illegible] AL AÑO 1975 Y CON UNA MUESTRA DE 1150 CASOS

SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA

SUB-SECRETARIA DE ASISTENCIA.

REGISTRO NACIONAL DE ENFERMOS CON CANCER

FORMA RENEC-00

No. EXPEDIENTE

SEXO	EDAD	TIPO DE TUMOR	DOLOR	TAMAÑO DEL TUMOR	ALTERACIONES ENDOCRINAS
1 MASC. 2 FEM.		1 MALIGNO 2 BENIGNO	1 SI 2 NO	CENTIMETROS	1 SI 2 NO
7	8 9 10	11	12	13 14	15

LOCALIZADO EN (16 17)

01 CUELLO UTERINO	06 LARINGE
02 MAMA	07 LABIO Y C. ORAL
03 PIEL	08 TIROIDES
04 LINFOMAS	09 OVARIO
05 PULMON	10 OTRAS

SITIO DE ORIGEN (18)

1 CABEZA Y CUELLO	6 MIEMBROS TORACICOS
2 TORAX	7 MIEMBROS PELVICOS
3 ABDOMEN	8 GENITALES EXTERNOS
4 INTRA PELVICO	
5 MEDULA OSEA	

TIPO HISTOPATOLOGICO (19)

1 CARCINOMA	5 OTROS
2 SARCOMA	6 TUMOR BENIGNO
3 MELANOMA	CUAL ?
4 PADECIMIENTOS HEMATOLOGICOS MALIGNOS	_____

TIPO DE LESION MALIGNA. (20)

1 LEUCEMIAS	6 SISTEMA NERVIOSO CENTRAL
2 LINFOMAS	
3 TUMOR DE WILMS	7 E WING
4 RETINOBLASTOMA	8 OTROS
5 RABDOSARCOMA	

ESTADIO CLINICO (21)

1 ESTADIO CLINICO 0	5 ESTADIO CLINICO IV
2 ESTADIO CLINICO I	6 FUERA DE CLASF.
3 ESTADIO CLINICO II	7 NO EXISTE CLASIFICACION
4 ESTADIO CLINICO III	

TRATAMIENTO EMPLEADO (22)

1 CIRUGIA	5 CON ISOTOPOS
2 RADIOTERAPIA	6 INMUNOTERAPIA
3 QUIMIOTERAPIA	7 COMBINADO
4 HORMONOTERAPIA	8 NO RECIBIO TRATAMIENTO.

EVOLUCION DE PADECIMIENTO EN MESES ANTES 1a. CONSULTA	CONTROL DESPUES 1a. VISITA EN MESES	1 CON ACT. TUMORAL 2 SIN ACT. TUMORAL	NO. DE VECES QUE ASISTIO A CONSULTA
23 24	25 26	27	28 29

FECHA LLENADO		
DIA	MES	AÑO
30 31	32 33	34 35

NOMBRE DE QUIEN LLENO LA FORMA

- Listados para el análisis de incidencia de un tipo específico de cáncer por las características del enfermo.
- Listado de análisis estadísticos.

A continuación se mencionan algunos listados estadísticos que podrán ser útiles para tomar medidas de carácter médico (en la actualidad y en el futuro).

- Cálculo de medidas de tendencia central a:

- Diagnóstico por edad
- Diagnóstico por duración de la enfermedad

- Ajuste de funciones a los datos:

- Diagnóstico por edad
- Diagnóstico por duración de la enfermedad

- Correlaciones:

- Curación con aplicación de un tratamiento
- Ocupación con incidencia de un tipo de cáncer
- Presentación de síntomas con un tipo de cáncer
- Presentación por edad contra presentación por sexo, etc.

- Estimación futuras de:

- Incidencia de un cáncer aplicando ciertas medidas de salud
- Mortalidad por sexo en enfermos con cáncer
- Incidencia de cáncer por grupos de edad, etc.

El registro Nacional de Enfermos con cáncer será el primero en hacer un serio análisis médico de las condiciones socioeconómicas del país, por regiones bien delimitadas, que permita estimar cuáles características de la región están relacionadas, directa o indirectamente, con el detrimento de la salud pública, y en particular, la correlación existente con el cáncer.

El manejo de los datos captados por el RENEC mediante técnicas estadísticas, es un indicador eficaz de la tendencia de este padecimiento y de subdesarrollo. Esto es importante por la marcada inclinación que se observa en las sociedades modernas en aumentar sus índices de padecimientos de tipo canceroso.

II.3.- CONTROL EPIDEMIOLOGICO DE ENFERMEDADES TRANSMISIBLES (CEPIET)

VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA

La vigilancia epidemiológica de las enfermedades transmisibles está integrada por un conjunto de actividades planeadas, sistemáticas, permanentes y dinámicas, que tiene por objetivo la supervisión de todos los aspectos de la ocurrencia de estos padecimientos, mediante la recolección de datos y distribución oportuna de la información de ellos derivada, lo cual, permite presentar alternativas a los responsables de tomar decisiones para la prevención, erradicación o control de los padecimientos.

El análisis de las causas que determinan el comportamiento de las enfermedades infecciosas sirve de base para la realización óptima de los programas de salud en este campo.

El sistema CEPIET es un conjunto de estructuras de información, procedimientos y mecanismos que guardando una interrrelación conveniente se encarquen de la captación, selección, transformación y proceso de las notificaciones originales de casos nuevos de enfermedades transmisibles, con el objeto de mantener informadas a las autoridades correspondientes del estado, cuantitativa y cualitativamente, de la morbilidad en el país (ver fig. 1)

Los objetivos que persigue el CEPIET son los siguientes: (Ver Fig. 2).

. Disponer de un sistema moderno, a través de la computación electrónica, que proporcione la información oportuna y veraz, para la correcta evaluación del estado de la morbilidad de las enfermedades transmsibles en el país.

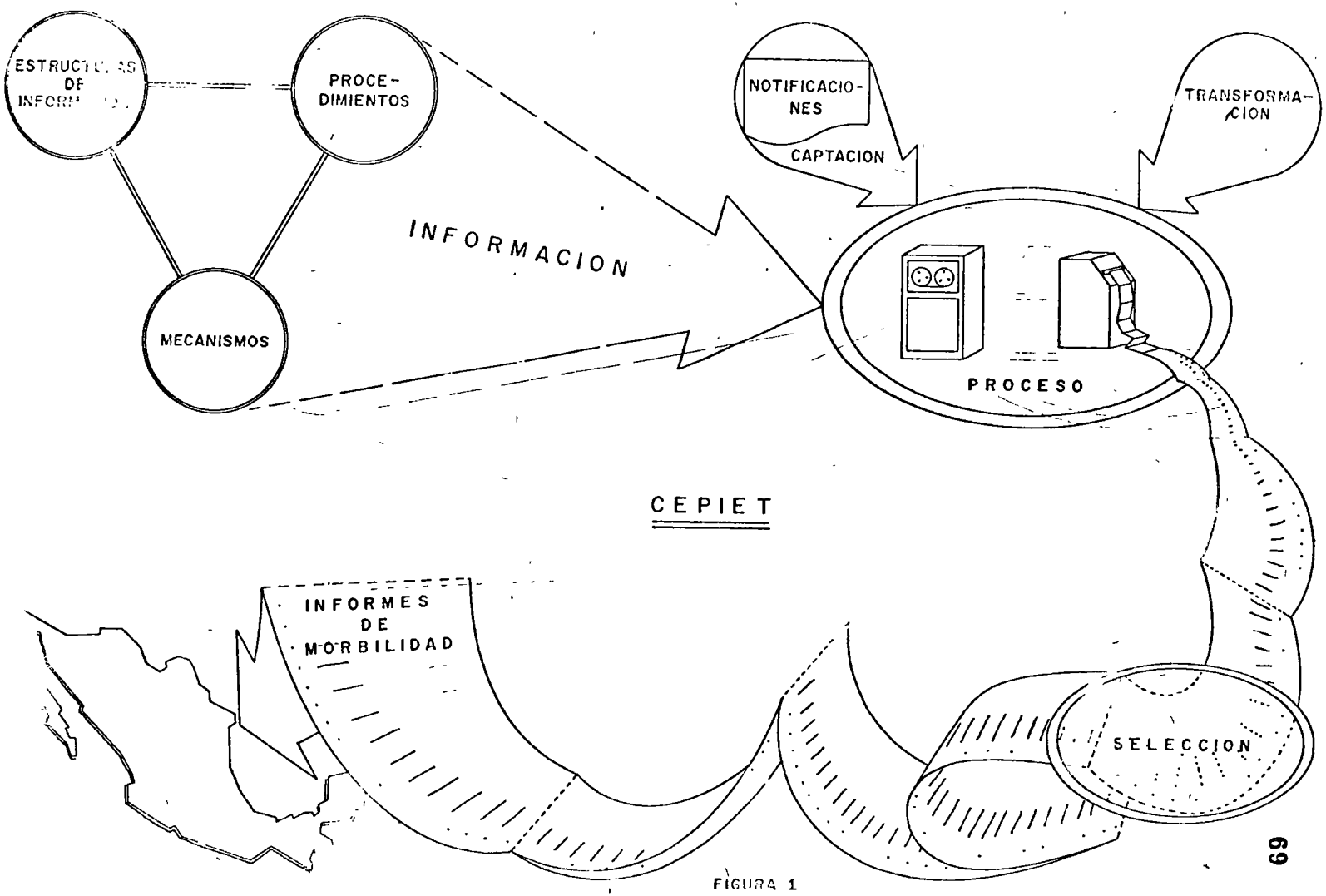

ESTRUCTURAS DE INFORMACION
PROCE-DIMIENTOS
MECANISMOS
INFORMACION
NOTIFICACIO-NES
CAPTACION
TRANSFORMA-CION
PROCESO
CEPIET
INFORMES DE MORBILIDAD
SELECCION

FIGURA 1

OBJETIVOS DEL SISTEMA CEPIET

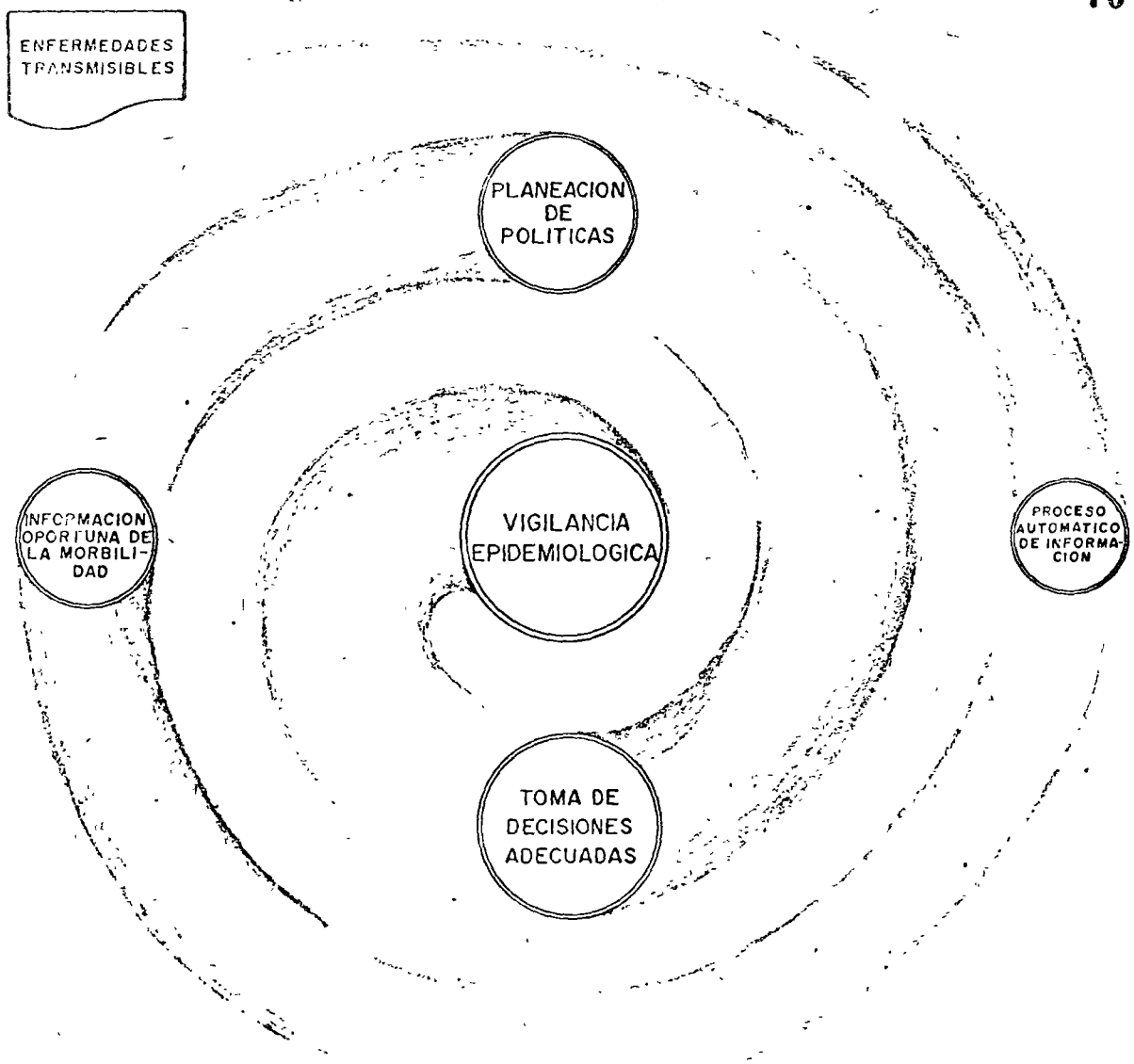


FIGURA 2

. Planear estructuras de información que permiten determinar la magnitud y trascendencia de los procedimientos en estudio.

La ce tación de la información se realiza de dos maneras: La primera se- refiere a la "Notificación Individual" de casos nuevos de enfermedades - tansmisibles que capta la siguiente información:

. Datos del establecimiento
. Diagnóstico
. Fecha de principio de la enfermedad
. Fecha de notificación
. Sexo
. Edad
. Lugar de residencia del enfermo
. Otros.

La segunda se refiere a la "Notificación Global" de casos nuevos de enfermedades transmisibles que capta la siguiente información:

. Datos del establecimiento
. Fecha
. Diagnóstico
. Número de diagnóstico
. Otros

El cumplimiento y la oportunidad con que estas actividades se desarrollan permiten obtener los resultados satisfactorios y mejorar la toma de deci

siones de las autoridades correspondientes, en cuanto a sus programas de-trabajo.

Se estima que serán notificados un promedio de 60,000 casos nuevos de enfermedades transmisibles mensualmente, de los 2,198 Centros de Salud con-los que opera el usuario.

Los resultados alcanzados por medio del sistema CEPIET son básicamente sobre la incidencia, prevalencia y tendencia de enfermedades transmisibles-en el país, los cuales se emiten con una periodicidad semanal, mensual y anual; entre los que destacan los siguientes:

- Reporte semanal de casos nuevos de enfermedades transmisibles por entidad federativa.

- Resumen mensual de las incidencias de las enfermedades transmisibles en las entidades federativas.

Dentro de los reportes trimestrales y anuales se tienen:

- Reporte de las enfermedades transmisibles, el cual registra las incidencias con su respectivo diagnóstico, tomando en cuenta edad y sexo correspondientes.

- Catálogo con 96 enfermedades transmisibles de las cuales 24 de ellas se analizan de manera específica y las demás son consideradas como otras.

ENFERMEDADES TRANSMISIBLES MAS FRECUENTES EN LA REPUBLICA MEXICANA (1977)

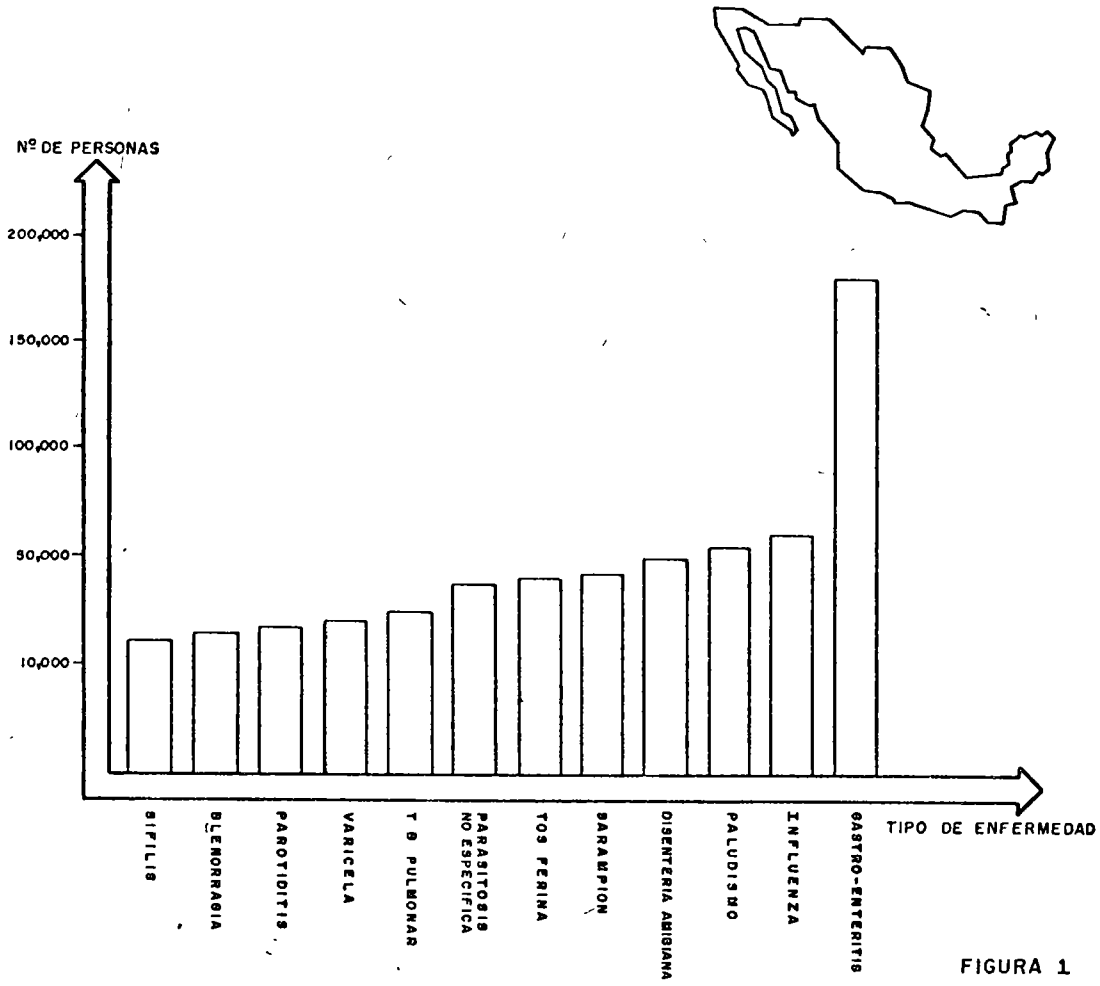


FIGURA 1

NOTA:

En la actualidad el sistema controla 96 enfermedades transmisibles, de las cuales en la presente grafica, se da un ejemplo de algunas de ellas.

TIPO DE ENFERMEDAD	Nº DE PERS.
BLENORRAGIA	13,325
DISENTERIA AMIBIANA	37,932
GASTRO-ENTERITIS	188,946
INFLUENZA	59,064
PALUDISMO	47,550
PAROTIDITIS	15,594
PARASITOSIS ESPECIFICA	21,993
SARAMPION	35,400
SIFILIS	12,246
TOS FERINA	29,772
T B PULMONAR	18,499
VARICELA	16,570

. Reporte de las incidencias de las enfermedades transmisibles por fecha de inicio del síntoma; asimismo refleja casos de 10 diagnósticos por - entidad federativa.

En la fig. 3 se presentan los tipos de enfermedades transmisibles más- frecuentes que se presentan en la República Mexicana, así como el núme ro de casos que se han presentado de cada uno de ellos.

Mediante el sistema CEPIET se pretende controlar la vigilancia epidemiológica en el país, la cual deberá incluir el reporte de morbilidad, el - reporte de mortalidad, o en su defecto el certificado médico de defunción

Por otra parte también es necesario que se controle la información que se genera en las diferentes campañas sanitarias que lleva a cabo la Secretaría así como la información que se capta sobre enfermedades transmisibles en Hospitales.

Con esta información podrán relacionarse los casos de enfermedades transmisibles en la siguiente forma: los que fueron atendidos en un Centro Médico a nivel consulta externa y los que fueron atendidos en un Hospital, registrando también la mortalidad. Esto completará la información para - una vigilancia epidemiológica de las enfermedades transmisibles a nivel nacional.

III.- ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS DE INFORMACION INTEGRALES.

Sin lugar a dudas, una de las aplicaciones más interesantes de los sistemas de información mecanizados, consiste en desarrollar para un usuario determinado un suprasistema que a su vez englobe varios sistemas y/o subsistemas.- Este enfoque reviste particular interés, desde el punto de vista organizacional y técnico. Aunque, es importante señalar este tipo de aplicaciones- exige una infraestructura organizativa y funcional bien integrada, y un trabajo minucioso de análisis y diseño de sistemas, todo lo cual dificulta su- implantación. Sin embargo, es posible asignar las prioridades de desarrollo, sin perder la perspectiva del sistema total.

III.1.- SISTEMA DE INFORMACION MECANIZADO PARA LA ERRADICACION DEL PALUDISMO (SIMCEP)

Es evidente que para el control y evaluación de las múltiples actividades - que actualmente se desarrollan para erradicar el paludismo generan un volumen excesivo de datos, mismos que han requerido de un sistema de información- que de una manera eficiente proporcionó los datos requeridos para la oportuna toma de decisiones a los niveles en que ésta solicitada.

Actualmente la organización del usuario tiene en funcionamiento 14 oficinas zonales en todo el territorio Nacional (cada oficina atiende a una zona en- particular), que cubre en su totalidad el área palúdica (ver figura 1).

Cada zona está formada con un promedio de cuatro distritos, los cuales cuentan con un laboratorio de microscopía para la observación de muestras de —

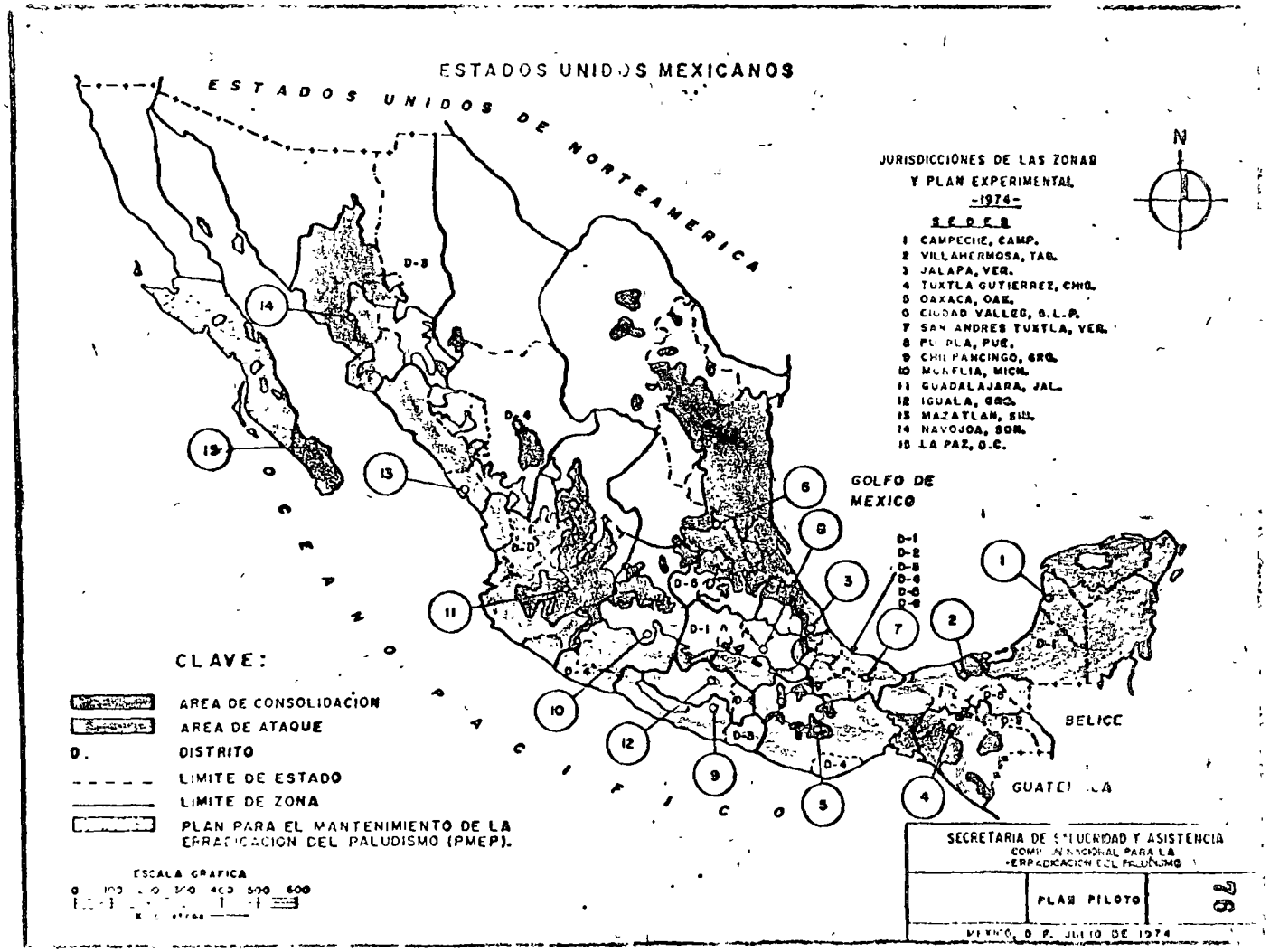

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA
JURISDICCIONES DE LAS ZONAS
Y PLAN EXPERIMENTAL
-1974-
SEDES
1 CAMPECHE, CAMP.
2 VILLAHERMOSA, TAB.
3 JALAPA, VER.
4 TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.
5 OAXACA, OAX.
6 CIUDAD VALLES, S.L.P.
7 SAN ANDRES TUXTLA, VER.
8 PUEBLA, PUE.
9 CHILPANCINGO, GRO.
10 MORELIA, MICH.
11 GUADALAJARA, JAL.
12 IGUALA, GRO.
13 MAZATLAN, SIN.
14 NAVOJOA, SON.
15 LA PAZ, B.C.
N
GOLFO DE MEXICO
OCEANO PACIFICO
BELICE
GUATEMALA
CLAVE:
AREA DE CONSOLIDACION
AREA DE ATAQUE
D. DISTRITO
LIMITE DE ESTADO
LIMITE DE ZONA
PLAN PARA EL MANTENIMIENTO DE LA ERRADICACION DEL PALUDISMO (PMEP).
ESCALA GRAFICA
SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA
COMISION NACIONAL PARA LA ERRADICACION DEL PALUDISMO
PLAN PILOTO
92
MEXICO, D. F. JULIO DE 1974

Figura Nº 1

DIAGRAMA SISTEMAS-SUBSISTEMAS

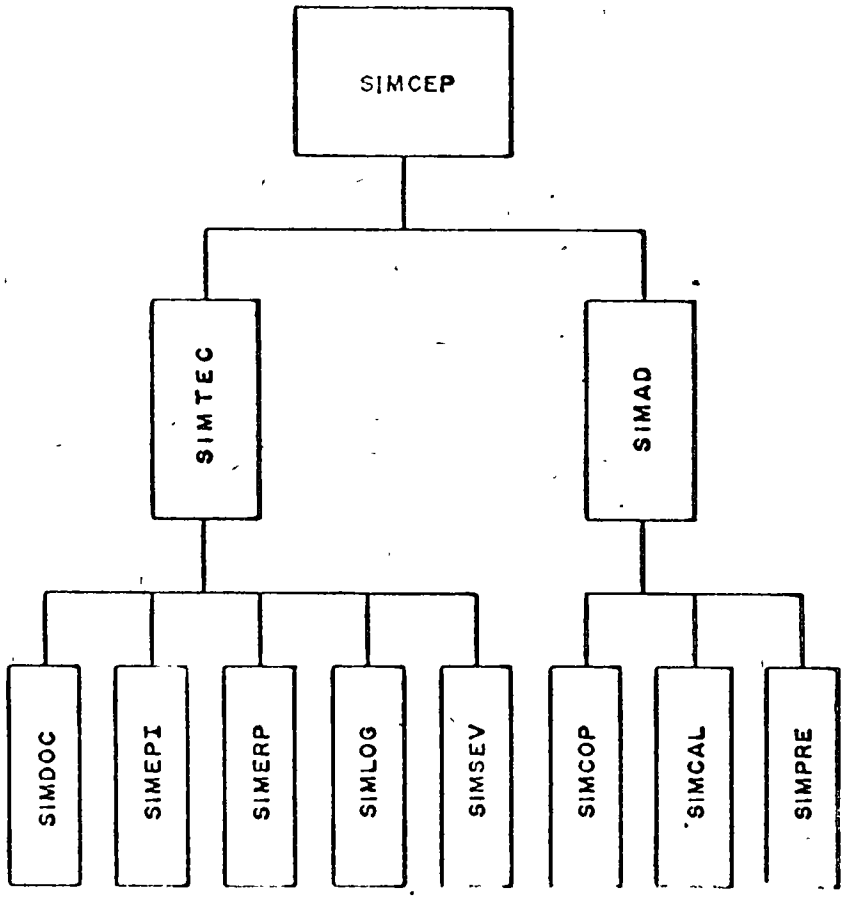


figura Nº 2

sangre. Estos distritos se integran con un promedio de cuatro sectores, los cuales constituyen la mínima unidad territorial. Cada sector a su vez coordina un promedio de cuatro brigadas, que se encarga de la aplicación de insecticidas y de la búsqueda de enfermos.

Por otra parte, el personal encargado de administrar los tratamientos de curva radical, trabaja individualmente, de acuerdo a los itinerarios señalados por el distrito o bien por la mesa de operaciones de campo de la zona correspondiente.

Después de un análisis exhaustivo de la organización, coordinación y control que se lleva a cabo con éxito en el desarrollo de los programas para la erradicación del paludismo, se propuso un plan de colaboración para el diseño e implantación de un sistema integral que satisfaciera los requerimientos de información planteados por el usuario; a este sistema se le ha denominado SIMCEP (Sistema de Información Mecanizado para la Erradicación del Paludismo).

Debido a las características de la información, atendiendo a su estructura, carácter disciplinario, técnicas de captación, así como su operación y desarrollo permitió concluir que el manejo de la información se agrupara básicamente en dos grandes áreas, (ver fig. 2) a saber:

. Area Técnica

. Area Administrativa

Por lo que resulta conveniente trabajar estas áreas en dos sistemas, independientes.

FLUJOGRAMA DE INFORMACION MODIFICADO PARA EL SIMDOC LINEA - R

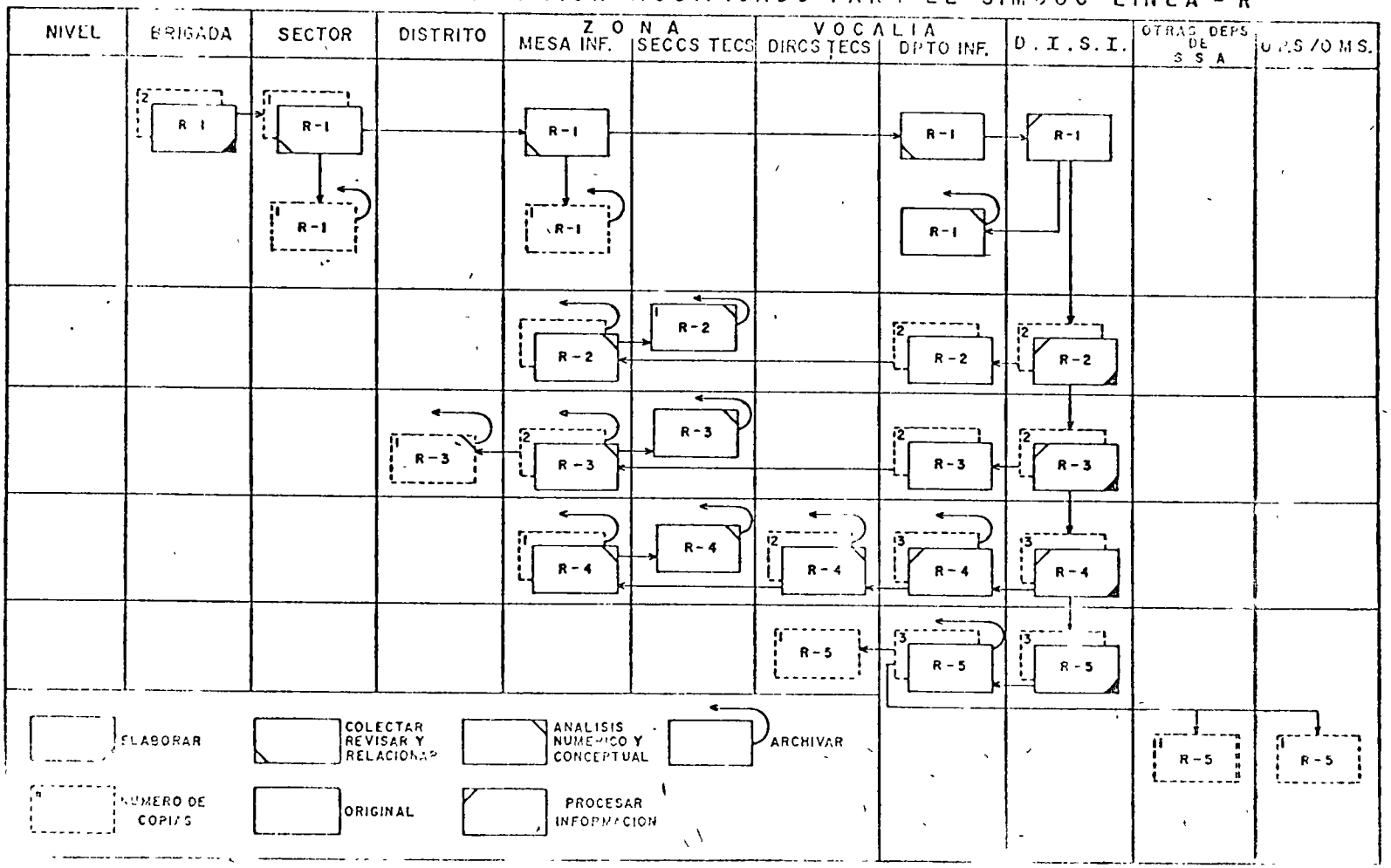


FIGURA Nº 3

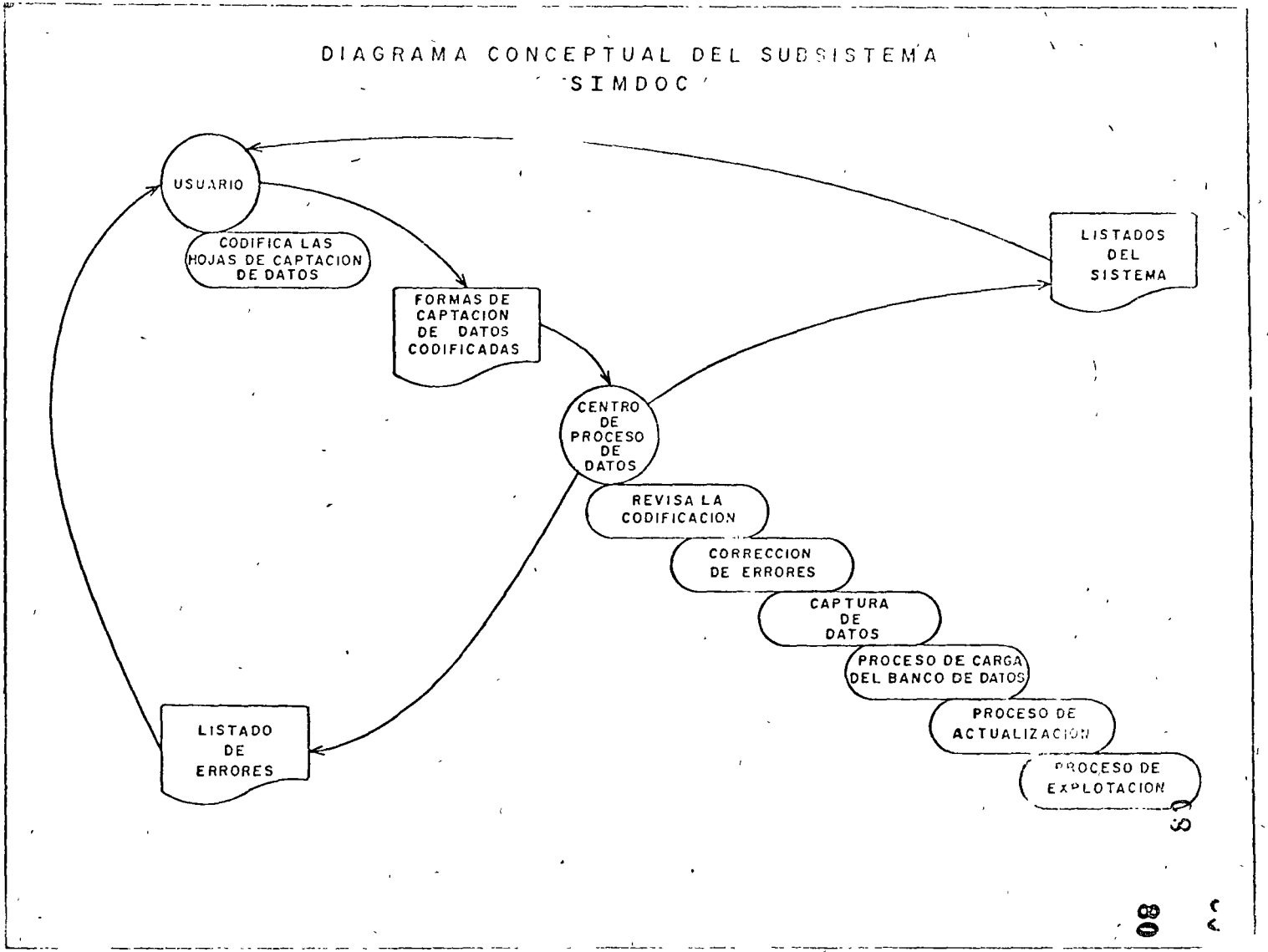


DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL SUBSISTEMA
SIMDOC
USUARIO
CODIFICA LAS HOJAS DE CAPTACION DE DATOS
FORMAS DE CAPTACION DE DATOS CODIFICADAS
LISTADOS DEL SISTEMA
CENTRO DE PROCESO DE DATOS
REVISA LA CODIFICACION
CORRECCION DE ERRORES
CAPTURA DE DATOS
PROCESO DE CARGA DEL BANCO DE DATOS
PROCESO DE ACTUALIZACION
PROCESO DE EXPLOTACION
LISTADO DE ERRORES

figura Nº 4

. Rociado de Insecticidas

. Búsqueda de enfermos y

. Tratamientos de cura radical.

Con el sistema manual, la captación y proceso de datos de estas tres actividades, se generaba en etapas concatenadas dependiendo cada una rigurosamente de su antecesora; por ejemplo, en las actividades de rociado de insecticidas, la información se elabora siguiendo los pasos que se ilustran en la figura 3.

El procesamiento de captación de información en el campo fue modificado en la forma que se ilustra en la figura 4.

Se puede decir que el objetivo primordial del SIMDOC es la generación de los reportes de Rociados de Insecticidas y Búsqueda de enfermos a los niveles de sector, distrito, zona y país; así como los tratamientos de cura-radical a nivel de municipio, distrito y zona.

El proceso de la información relativa a las actividades técnicas, se realiza a través del Sistema de Información Mecanizado del Area Técnica (SIMTEC), del cual forman parte los subsistemas que atienden a las siguientes actividades:

. Operación de Campo	SIMDOC
. Epidemiología	SIMEPI
. Enseñanza y Relaciones Públicas	SIMERP
. Logística	SIMLOG
. Supervisión y Evaluación	SIMSEV

Asimismo el proceso de la información de las actividades Administrativas se realiza mediante la operación del Sistema de Información Mecanizado del Area Administrativa (SIMAAD), del cual forman parte integramente los subsistemas que atienden las siguientes actividades:

. Control de Personal	SIMCOP
. Control de Almacenes	SIMCAL
. Control Presupuestal	SIMPRE

El trabajo de elaboración del SIMCEP fue iniciado con la integración del SIMDOC dado que en el desarrollo de las actividades que controla, se genera cualitativa y cuantitativamente, el mayor volumen de información.

CAPTACION DE LA INFORMACION EN EL CAMPO DEL SIMDOC

Las tres principales operaciones de campo que se realizan son:

II.4.- SISTEMA DE PROCESO DE INFORMACION BIESTADISTICA DE EGRESOS HOSPITALARIOS (SPIBEH)

Dentro del Plan Nacional de la salud existe, desde sus inicios, la convicción de que es necesario llevar un control estadístico de las enfermedades transmisibles, asimismo, de los casos y muertes ocasionadas por este tipo de enfermedades en el Territorio Nacional. El cual tiene entre sus atribuciones "elaborar estadísticas vitales de morbilidad y mortalidad hospitalarias". Es conveniente señalar que de acuerdo a las disposiciones de la legislación sanitaria vigente, los organismos descentralizados y privados que manejan asuntos relacionados directa o indirectamente con la salud, deben suministrar los datos correspondientes, para la elaboración oportuna, veraz y confiable de datos estadísticos, que proporcionen elementos de juicio para la toma de decisiones en relación con la asistencia médica.

El sistema de control estadístico de Egresos Hospitalarios, era, en sus inicios, un proceso manual; pero debido al constante incremento del volumen de información manejado, se hizo necesario un sistema de procesamiento de información más ágil. Debido a esto, el usuario solicitó la cooperación del Centro de Procesamiento Electrónico de Datos, que se refiere al procesamiento de información mediante técnicas de computación electrónica, para la elaboración del "SISTEMA DE PROCESO DE INFORMACION BIOESTADISTICA DE EGRESOS HOSPITALARIOS" denominado S.P.I.B.E.H.

Con el propósito de desarrollar este sistema, el centro de procesamiento y el usuario procedieron al análisis de las actividades llevadas a cabo por este último, para el ejercicio del control estadístico de Egresos Hospitalarios.

En la Fig. 1 se puede observar el producto de este análisis el cual permitió distribuir las actividades a desarrollar por cada entidad participante en la funcionalidad de este sistema.

En la fig. 2 se observa la ruta de los servicios médico-asistenciales, por la cual pasa cualquier individuo que solicita atención médica.

El formato del documento donde se vacía toda la información relevante correspondiente a los pacientes que egresan de los centros asistenciales se muestra en la fig. 3. A este documento se le ha dado el nombre de Resumen Clínico de Hospitalización (R.C.H.).

En la actualidad el mantenimiento del sistema se efectúa con una periodicidad bimestral, pero su explotación se lleva a cabo anualmente.

Tomando en cuenta las necesidades del usuario se ha llegado a un acuerdo en el que se establece que el Centro de Cómputo proporcionará los productos de la explotación del sistema, un mes después que los R.C.H., hayan sido enviados a la misma para su procesamiento.

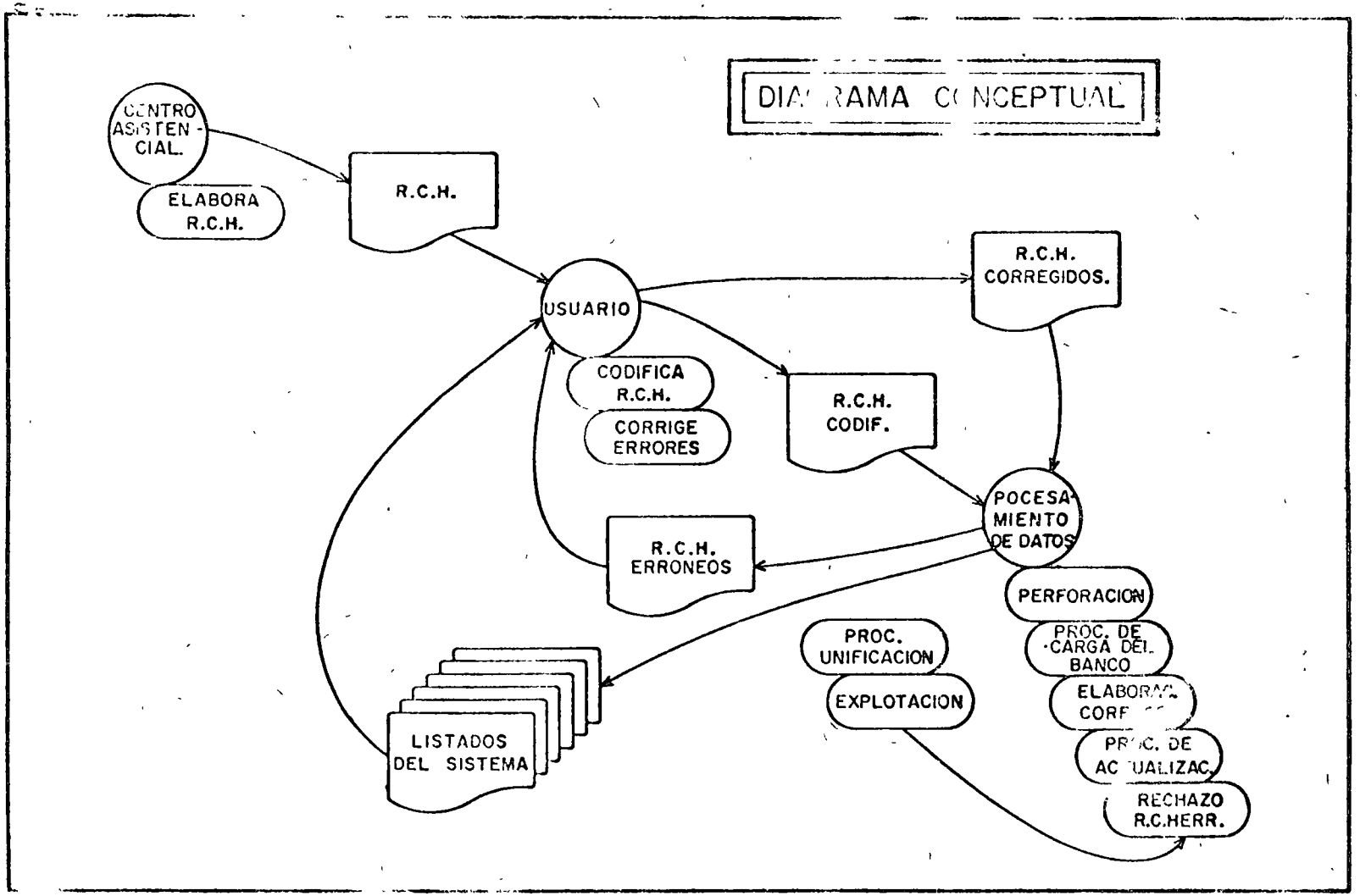


DIAGRAMA CONCEPTUAL
CENTRO ASISTEN - CIAL.
ELABORA R.C.H.
R.C.H.
USUARIO
R.C.H. CORREGIDOS.
CODIFICA R.C.H.
CORRIGE ERRORES
R.C.H. CODIF.
POCESA- MIENTO DE DATOS
R.C.H. ERRONEOS
PERFORACION
PROC. DE CARGA DEL BANCO
ELABORA CORR
PROC. DE AC UALIZAC.
RECHAZO R.C.HERR.
PROC. UNIFICACION
EXPLOTACION
LISTADOS DEL SISTEMA

FIG. 1

RUTA DE LA ATENCION MEDICA

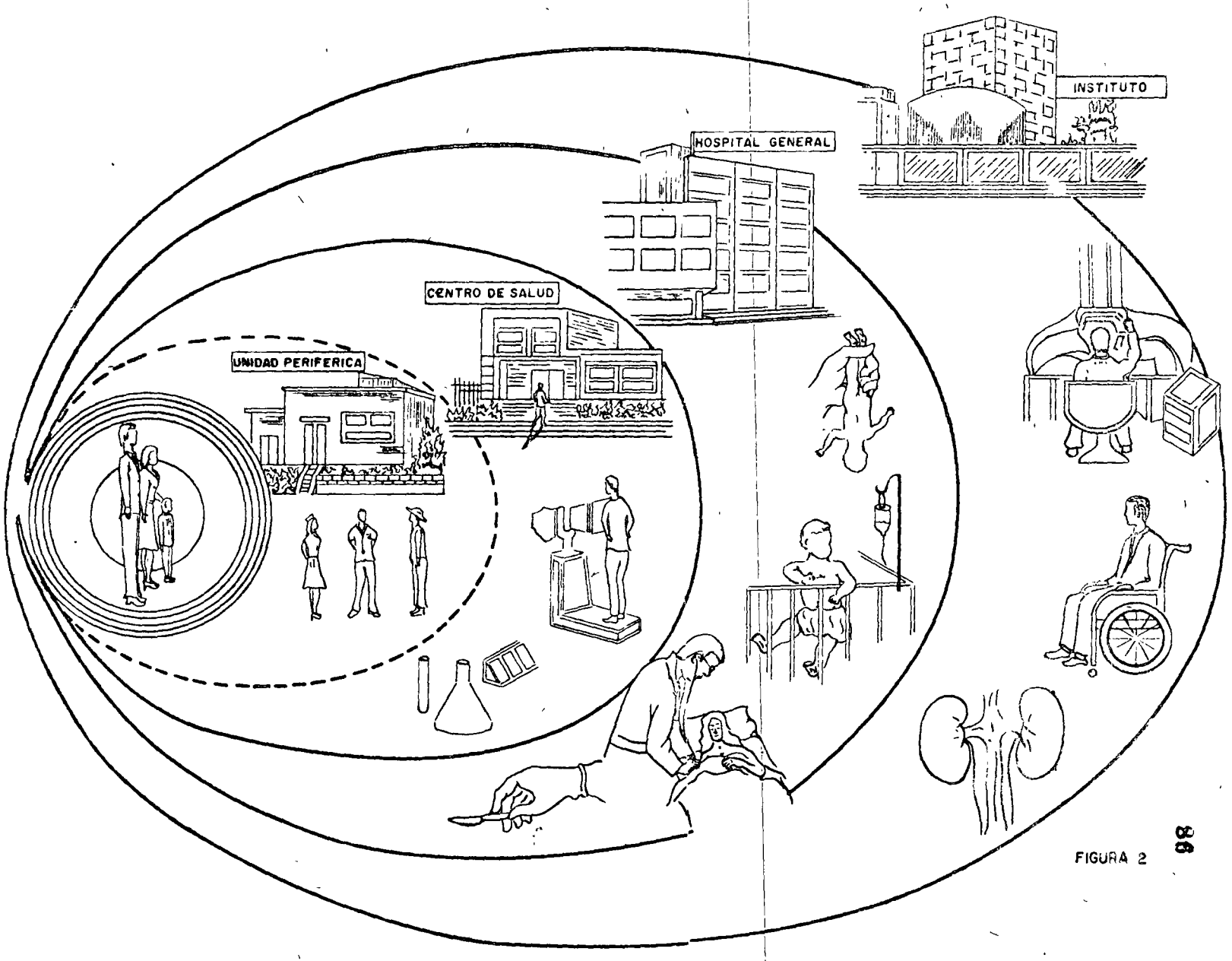


FIGURA 2

Servicios Coordinados de Salud Publica en el Estado de Coahuila

HOJA DE EGRESO HOSPITALARIO

87

Establecimiento _____ Clave _____

Localidad _____ Municipio _____

Apellido Paterno	Materno	Nombre	NUMERO DE EXPEDIENTE
		Sexo: Masculino ☐ Femenino ☐	Ocupacion:
DIA MES AÑO	DIAS MESES AÑOS		

Residencia Habitual

Calle y Número | Localidad | Municipio | Entidad

En caso de emergencia, avisar a _____ Telefono _____

Con domicilio en: _____

CALLE Y NUM | LOCALIDAD | MUNICIPIO | ENTIDAD

Hospitalizado por el servicio de:

Consulta Externa ☐ Urgencia ☐

Enviado por

Otro Hospital ☐ Otros _____ ESPECIFICAR

Hora al ingreso:	Fecha de ingreso:	Servicio	Diagnostico al ingreso:
HRS MINS	DIA MES AÑO		

Diagnóstico Principal

Otros Diagnósticos

Operacion Principal

Otras Operaciones

Nombre y firma del Médico que ingresó

En caso de Lesiones:

Accidente ☐ Suicidio ☐ Homicidio ☐ Se Ignora ☐

Circunstancia en que ocurrió:

Lugar donde ocurrió.

E

Medios auxiliares de diagnostico utilizados (Examenes Practicados)

Laboratorio ☐

Rayos X ☐

Otros _____ ESPECIFICAR

PRODUCTOS	SEMANAS DE GESTACION	PESO AL NACER EN GMS	SEXO M	SEXO F	MUERTE FETAL	CAUSA DE LA MUERTE FETAL	NACIDO VIVO	COND EGR. V	COND EGR. M

Egreso

Orden Médica ☐ Defunción ☐ _____ Hr.

Traslado otro Hospital ☐ Autopsia Si ☐ No ☐

Otras causas ☐ _____

AR

Fecha de Egreso. DIA MES AÑO

Dias de estancia:

_____

Nombre y Firma del Médico

FIGURA 3

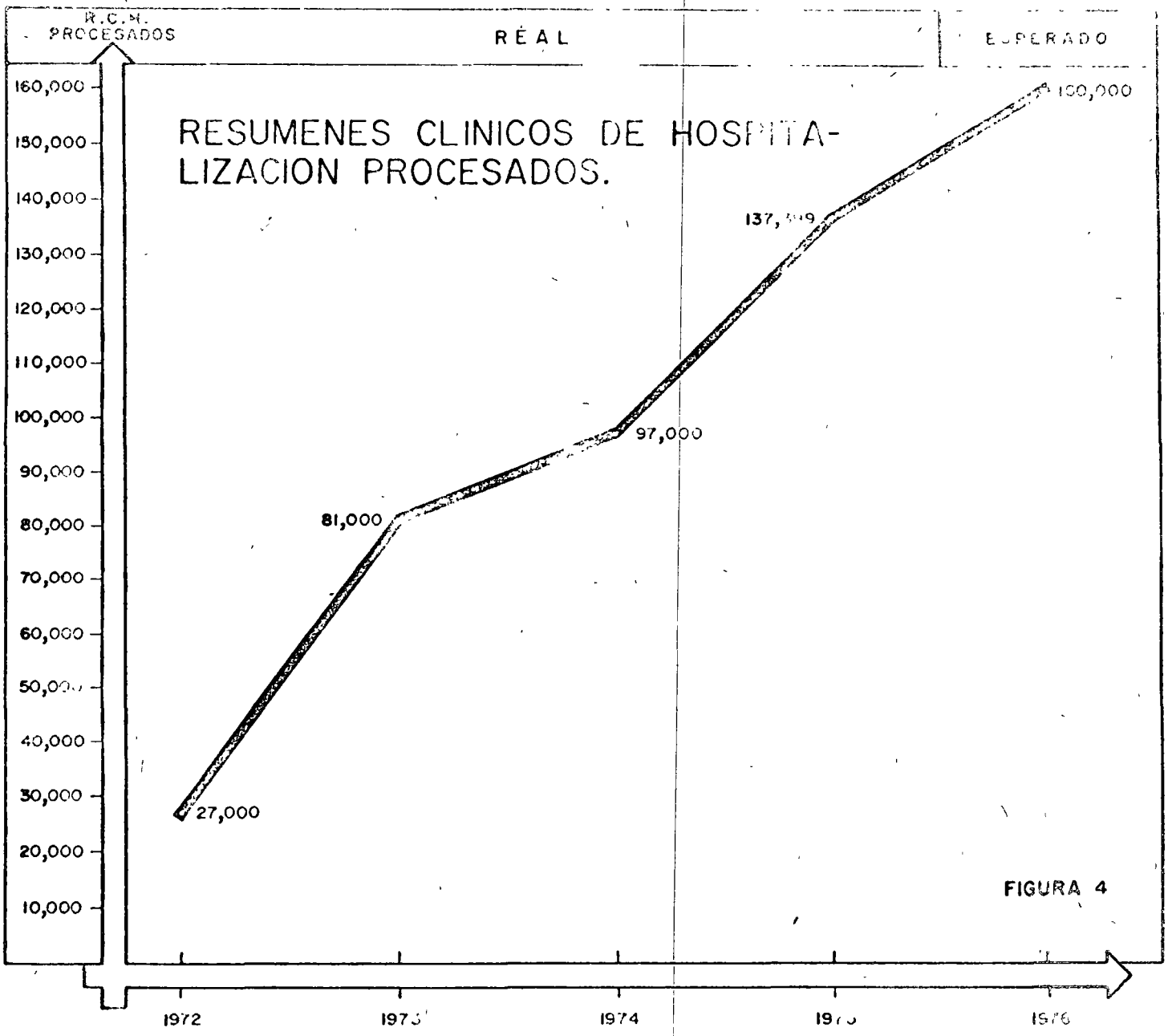

R.C.H.
PROCESADOS
REAL
ESPERADO
RESUMENES CLINICOS DE HOSPITALIZACION PROCESADOS.
160,000
150,000
140,000
130,000
120,000
110,000
100,000
90,000
80,000
70,000
60,000
40,000
30,000
20,000
10,000
27,000
81,000
97,000
1972
1974
1976

FIGURA 4

ACTIVIDADES REALIZADAS EN D.I.S.I.

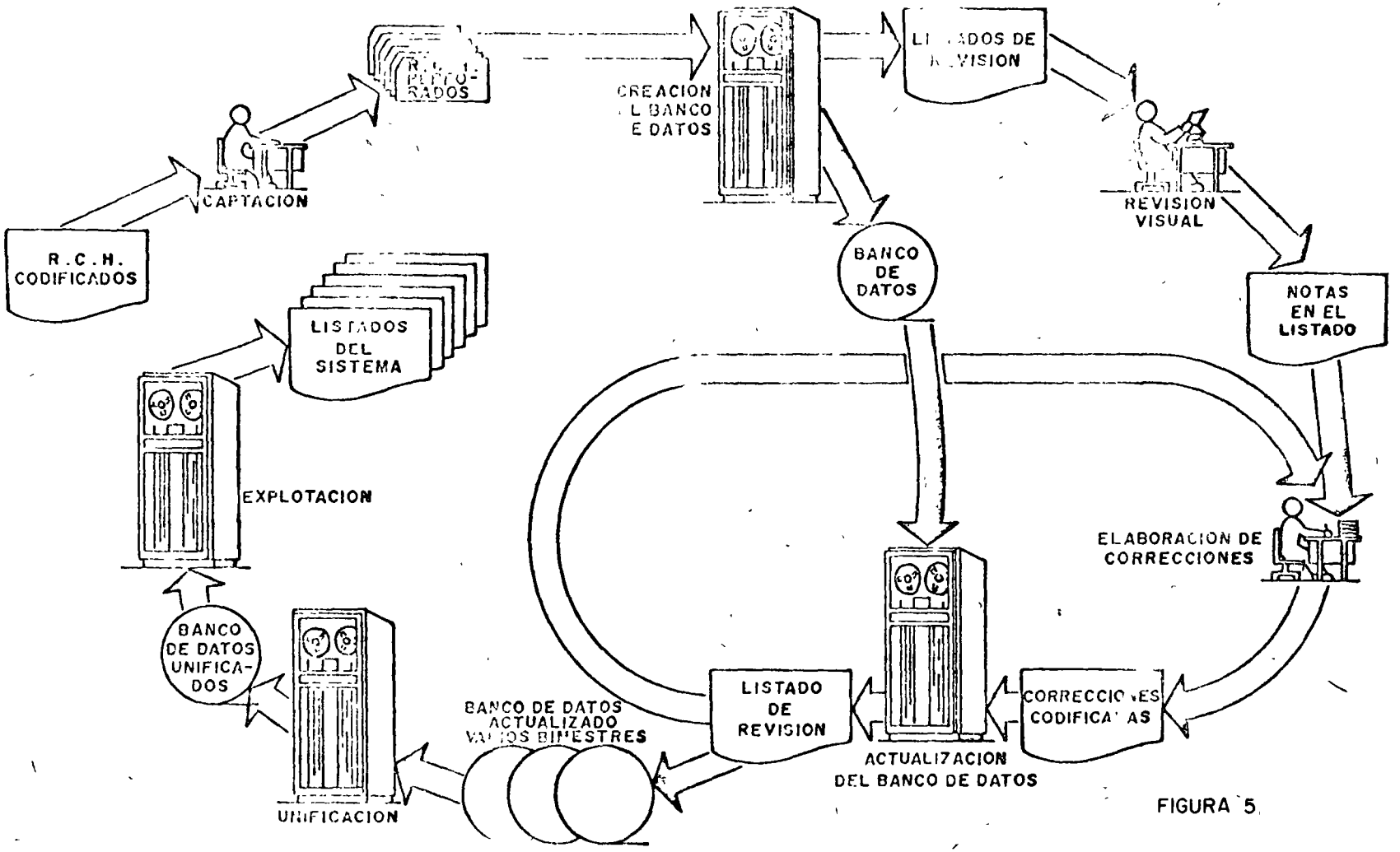


FIGURA 5.

INTERREL[illegible]INFORMACION

	ENTIDAD FEDERATIVA	SEXO	GRUPOS DE EDAD	TRATAMIENTO QUIRURGICO	DIAS DE ESTANCIA	ESTADO AL SALIR
ENTIDAD FEDERATIVA	X	X	X	X	X	X
SEXO		X	X	X	X	X
GRUPOS DE EDAD			X	X	X	X
TRATAMIENTO QUIRURGICO				X	X	X
DIAS DE ESTANCIA					X	X
ESTADO AL SALIR						X

FIGURA 6

En la fig. 4 se muestra el volumen de la información bioestadística procesada en los años 1972, 1973, 1974 y 1975 que fue de 27,000; 81,000; — 97,000; 137,399 R.C.H., respectivamente, en el año en curso se esta trabajando en el proceso de la información recopilada en 1976 esperándose procesar más de 160,000 R.C.H.

Los procedimientos llevados a cabo por el centro de procesamiento de datos para el tratamiento de la información recibida se ilustra en la fig. 5; los cuales son típicos en todo centro de este tipo.

Básicamente, los listados resultado de la explotación del sistema contienen contabilizaciones y cálculos resumidos de los porcentajes de las enfermedades y lesiones que se presentan en cada entidad federativa.
En la fig. 6 se presenta la interrelación de información que se maneja en este sistema.

Los trabajos que se desarrollan, en base a los listados producidos, plantean por los medios conducentes, a las autoridades máximas de la Salud, el estado de avance de las actividades llevadas a cabo en pro del mejoramiento de la salud comunitaria, permitiéndoles la adopción de nuevas medidas en respuesta a las necesidades que se observan.

IV.- CONCLUSIONES

IV.1.- CENTRO DE INVESTIGACIONES BASICAS DE APLICACIONES MEDICAS

Las experiencias desarrolladas en el sector salud han puesto de manifiesto las ventajas que representa el hecho de trabajar conjuntamente elementos de diferentes disciplinas. Además, se comprobó la importancia que tiene coordinar recursos y experiencias.

No obstante el interés que han demostrado las autoridades del Sector Público en mejorar cada vez más la coordinación en todas las áreas, es indudable que resulta aún difícil integrar esfuerzos y evitar duplicidades.

Ante esta situación, se elaboró en el año de 1975 un anteproyecto con objeto de crear un Centro de Investigaciones Básicas de Aplicaciones Médicas -- "CIBAM" (Ver Fig. 1) cuyo objetivo fundamental sea la solución de problemas de tipo científico en el área de la medicina, en la conciencia de que tanto los problemas a resolver, como las soluciones a proponer tengan un sentido dentro del contexto de la medicina asistencial.

A continuación se muestran algunas gráficas que ilustran los objetivos, políticas, atribuciones, funciones y procedimientos dentro de la S.S.A., del Centro de Investigaciones Básicas de Aplicaciones Médicas (Ver Fig. 2).

OBJETIVOS DEL CIBAM

- A CORTO PLAZO. Efectuar labores de investigación científica en el área de la medicina, tales como:

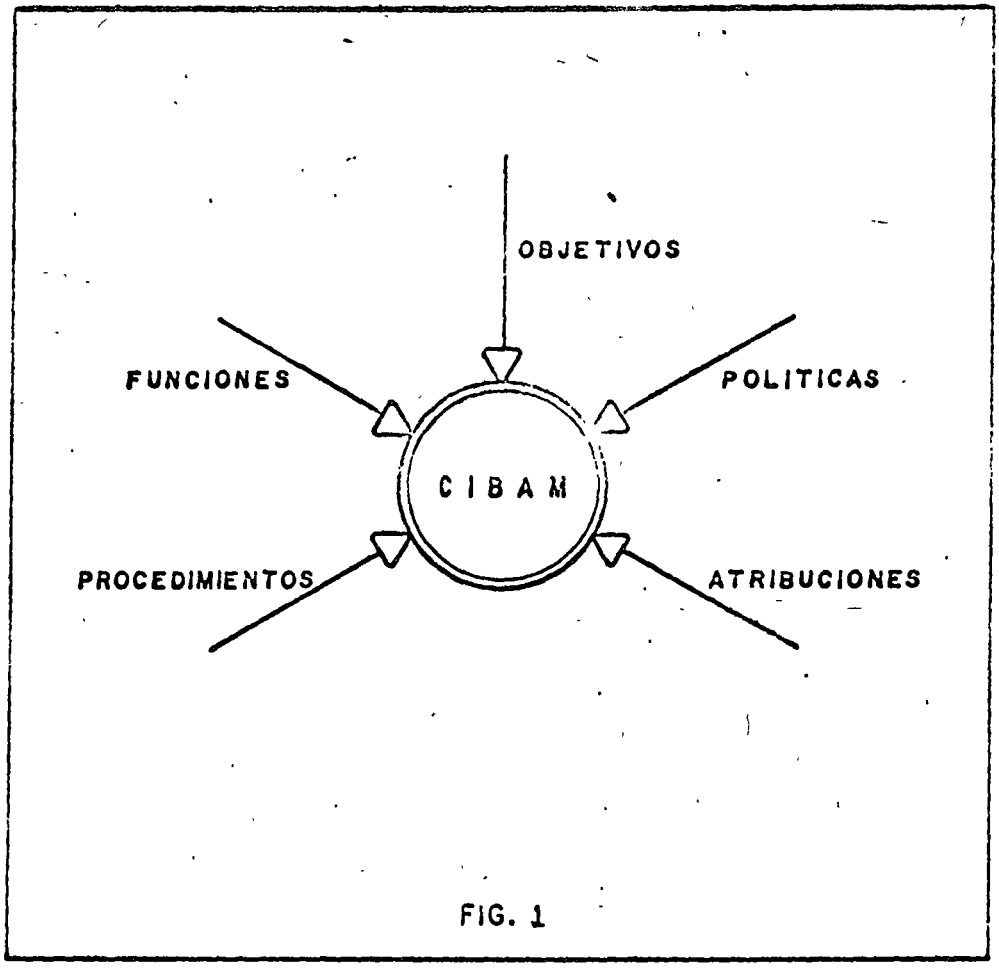

OBJETIVOS
FUNCIONES
POLITICAS
CIBAM
PROCEDIMIENTOS
ATRIBUCIONES

FIG. 1

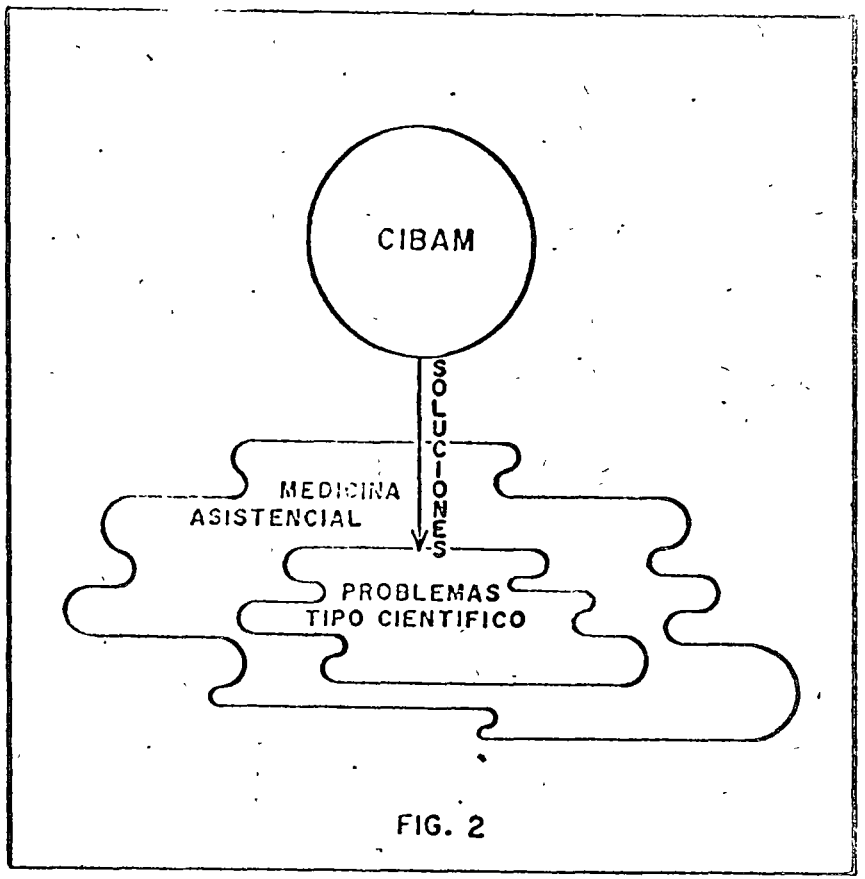

CIBAM
SOLUCIONES
MEDICINA
ASISTENCIAL
PROBLEMAS
TIPO CIENTIFICO

FIG. 2

.. Aplicación de modelos matemáticos por medio de computadoras y graficadores electrónicos para el diagnóstico, tratamiento y evaluación de padecimientos que involucren la utilización de readioisotópos (Ver Fig. 3).

. A MEDIANO PLAZO

.. Aplicación de computadores electrónicos en las áreas de genética y bioquímica.

.. Aplicar técnicas de simulación, por medio del computador, encaminadas al mejoramiento de los sistemas de organización y administrativos en los hospitales, aplicando técnicas de investigación de operaciones.

..... etc.

Los anteriores son algunos de los objetivos que a mediano y largo plazo se plantearon para el CIBAM (Ver Fig. 4) y como puede observarse, se cubren las más diversas áreas pero siempre se procura auxiliar a la medicina con aportaciones de ciencias más determinísticas, tales como la computación electrónica, física, matemática, etc. procurando siempre en el primero, aplicar herramientas adecuadas como el manejo de proyectos y el enfoque sistemático para el desarrollo de un sistema de información mecanizado.

POLITICAS DEL CIBAM

. Abocarse a la solución de problemas de tipo real y no de investigación pura, aplicando técnicas modernas en labores interdisciplinarias.
. Evitar la duplicidad de esfuerzos, estableciendo contacto con otras dependencias tanto estatales como descentralizadas.

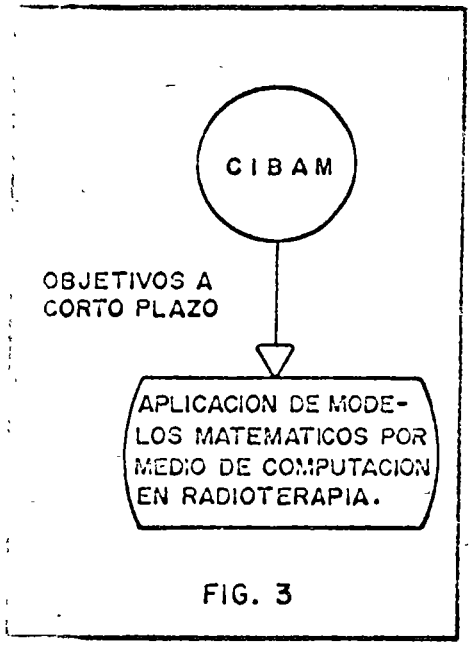

CIBAM
OBJETIVOS A CORTO PLAZO
APLICACION DE MODELOS MATEMATICOS POR MEDIO DE COMPUTACION EN RADIOTERAPIA.

FIG. 3

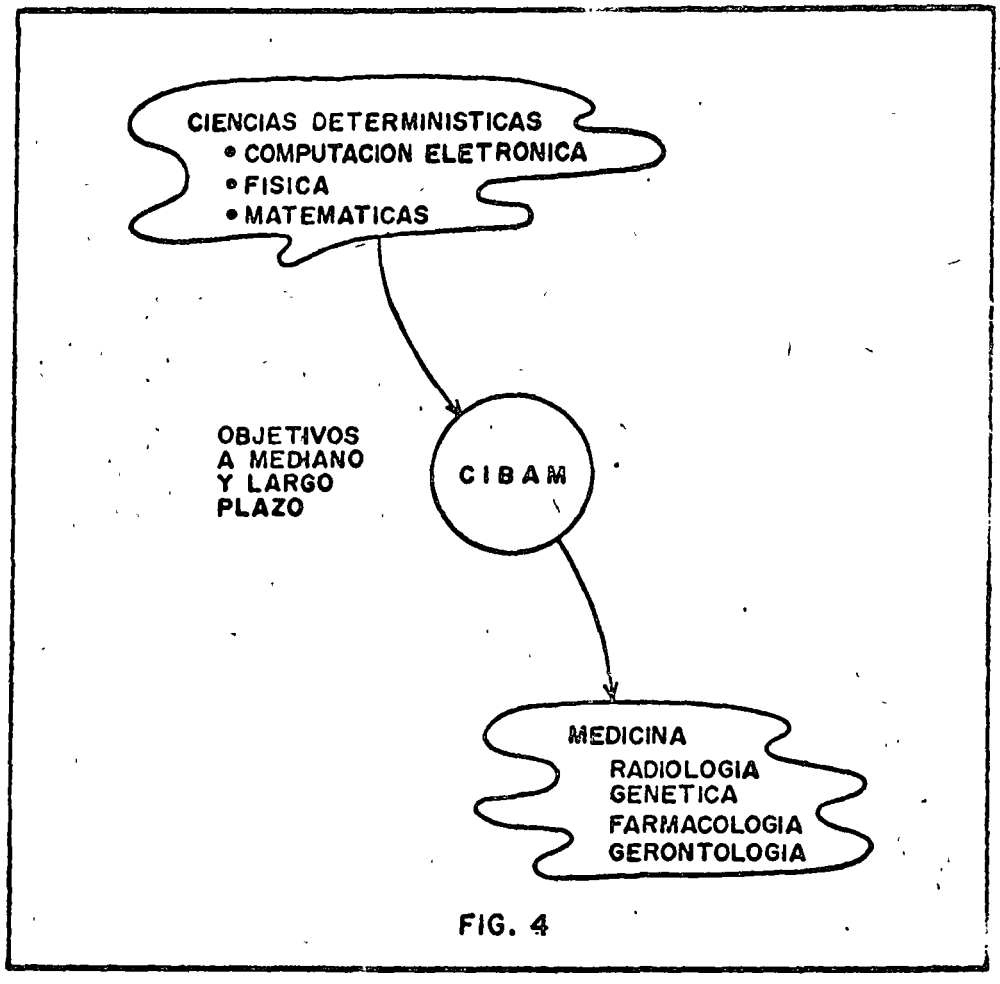

CIENCIAS DETERMINISTICAS
• COMPUTACION ELETRONICA
• FISICA
• MATEMATICAS
OBJETIVOS
A MEDIANO
Y LARGO
PLAZO
CIBAM
MEDICINA
RADIOLOGIA
GENETICA
FARMACOLOGIA
GERONTOLOGIA

FIG. 4

DIAGRAMA CONCEPTUAL DE ORGANIZACION Y FUNCIONES DEL CIBAM

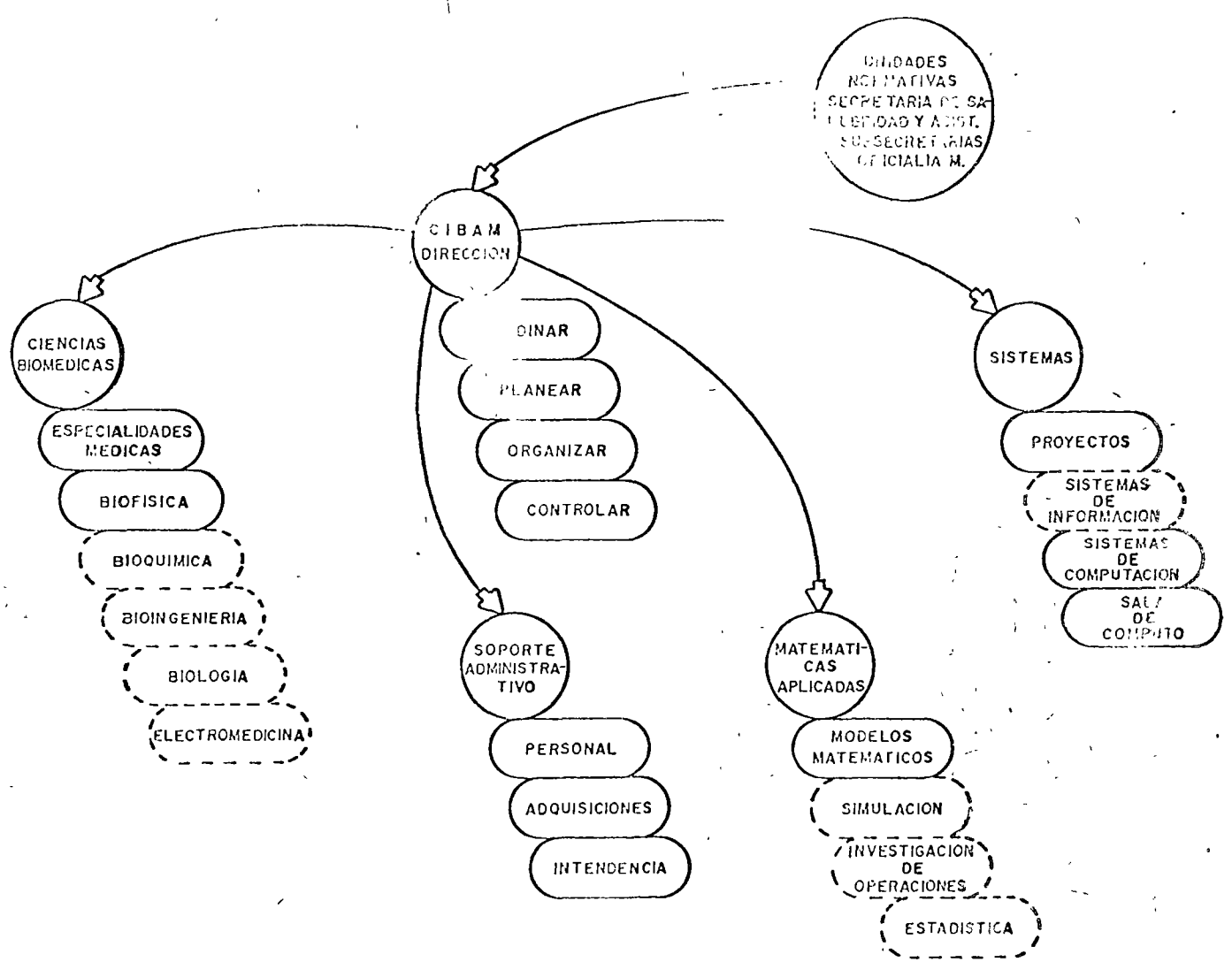
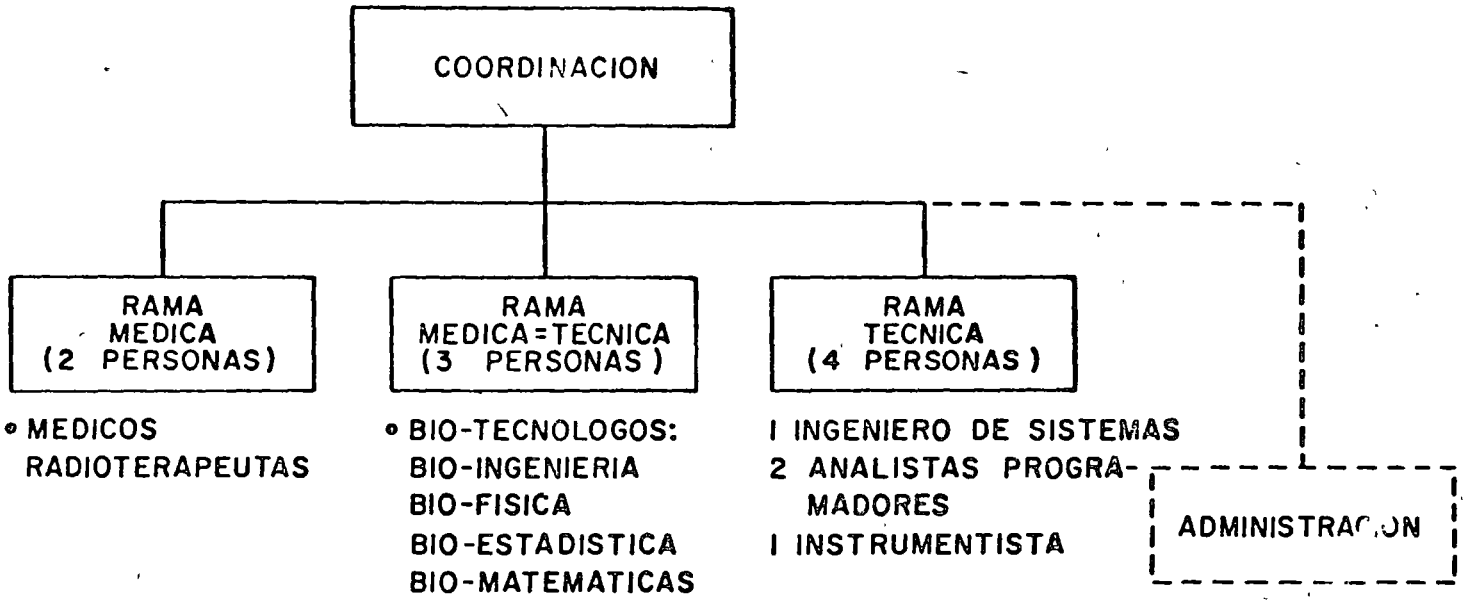


FIG. 5



PLANEACION Y DESARROLLO
INSTRUMENTACION:

ANALOGICA
ANALOGICA Y DIGITAL
ELECTRONICA-MEDICA
NORMAS Y ESTANDARES
MEDICINA NUCLEAR
BIOELECTRONICA

El monto total aproximado por servicios personales se estimo en $ 150,000.00

FIG. 6

ORGANIZACION Y FUNCIONES DEL CIBAM

De acuerdo con los objetivos planteados, en las figuras 5 y 6 se presenta un diagrama conceptual de la organización y funciones del CIBAM; en dicho diagrama se esbozan las unidades que lo integrarían básicamente, así como las funciones fundamentales a desarrollar.

Como complemento de este anteproyecto, se realizó un estudio económico a fin de estimar los costos que implicará la primera fase del funcionamiento del CIBAM.

El esbozo aquí presentado, así como las proyecciones que se tienen previstas, permiten augurar un promisorio futuro para los profesionales de nuestras especialidades. Y, sin lugar a dudas, la Ingeniería de Sistemas, Informática, etc. tienen un amplio campo de desarrollo en el sector salud.

Muchas gracias por su atención.

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

INFORMATICA EN ADMINISTRACION Y PROGRAMACION

M. EN I. GUSTAVO ARGIL CARRILES

AGOSTO DE 1977.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

1 INTRODUCCION

2 INFORMATICA
Concepto

Caracterísiticas importantes.

Diferentes tipos de información

Su importancia en la toma de decisiones.

3 SISTEMAS
Definición.

Conceptos importantes.

Ciclo de vida

Algunos tipos de sistemas.

4 SISTEMAS DE INFORMACION
Definición

Generalidades

Funciones

Tipos de Sistemas de Información.

5 LOS SISTEMAS DE INFORMACION EN LA ADMINISTRACION Y EL CONTROL.
Introducción

Objetivos

Ventajas

6 SISTEMAS DE COMPUTO ELECTRONICO
Generalidades

Proceso centralizado

Proceso distribuido.

INTRODUCCION.

Antecedentes.-

La República Mexicana, con una extensión de 1,972,547 Km^2, tiene un indice de crecimiento de la población, superior al 3%, país de economía agrícola, con reservas mineras importantes y que se halla en plena fase de expansión industrial.

A partir de 1950 ha mantenido un alto crecimiento, que la sitúa por encima de la mayoría de los Países Latinoamericanos.

Para lograr conservar y más aún, aumentar este crecimiento de la economía, es cada vez más importante al decidir si un proyecto ha de llevarse a cabo o no, el tener la certeza de que los escasos recursos disponibles se están empleando óptimamente, para lo que es necesario no solo contar con grupos de alternativas de proyectos aislados, sino tratar de ir mas allá o sea considerar toda la economía como un gran sistema, en el que todas sus partes están interrelacionadas y; que al hacerle alguna modificación esto va a traer efectos grandes o pequeños, previsibles o tal vez imprevisibles en todos sus sectores.

Planeación Regional.-

La Planeación de toda la economía nacional, es una carga muy pesada para que un solo organismo pueda hacerla en la totalidad de sus partes, por lo que es necesario distribuir este gran volumen de trabajo en forma piramidal, esto es la Planeación Nacional debe esta basada en cuanto sea po

sible en planeación regional, esta a su vez en planeación estatal, la que a su vez debe basarse en planeación a nivel municipal, para que las necesidades y en algunos casos soluciones partan del propio lugar de origen.

Es mi punto de vista que los gobiernos de los estados, deberían impulsar en gran escala, estudios de planeación a nivel estatal, ya que con ello podrían optimizar sus inversiones que en general son escasas, ayudando además con toda esa información al Gobierno Federal en la planeación nacional.

Planeación Nacional.-

El Gobierno Federal que es quien tiene a su cargo la Planeación Nacional en base a una multitud de proyectos provenientes ya sea de sus propias Dependencias, de los Gobiernos de los Estados, de los particulares o cualquiera otra fuente, procede a clasificar, seleccionar, agrupar, etc., dichos proyectos hasta que formula un programa de inversiones a realizar.

Para llegar a este programa de Inversiones, es necesario primeramente elegir de entre los proyectos similares el mejor, descartando los demás, luego en un segundo paso catalogar los proyectos según un orden de preferencia, el cual puede estar basado en multitud de criterios existentes y por último decidir cuales de esos proyectos han de llevarse a cabo.

Perc ¿será óptimo el programa de Inversiones al considerarse los proyec

tos independientes uno del otro, basándose exclusivamente en un indicador por ejemplo?, seguramente no, tal vez si se formulan pequeños programas de inversión que abarquen un proyecto principal y uno o varios pequeños proyectos, que serían de gran valor si el proyecto principal se llevará a cabo, ésto es que son viables debido a la "oportunidad" de hacerlo simultáneamente y que no lo serían si los consideramos aislados; evaluar cada uno de esos subsistemas o conjuntos de proyectos altamente interrrelacionados, como una unidad y hacer el programa definitivo en base a elegir o descartar esos conjuntos de proyectos, seguramente este procedimiento sería mejor que el anterior y así se pueden sofisticar más y más los procedimientos a usar, aunque en contrapartida los costos, tiempos, etc, se incrementarían seguramente por lo que habrá que balancear hasta llegar a un procedimiento óptimo, en base a las limitaciones reales, aunque lo que es muy palpable es que cada vez es más importante el tomar mejores decisiones, lo que implica afinar y mejorar los procedimientos usados.

De entre las muchas necesidades originadas por la tendencia antes mencionada se ve cada vez mas, la importancia de contar con información abundante y confiable que permita tomar esas decisiones con mayor rapidéz y menor incertidumbre.

2. INFORMATICA

2.1 Informática. Según la Academia Francesa (1966) es "La Ciencia que trata el procesamiento sistemático y racional, particularmente por medio de computadoras electrónicas, de la información considerada como la base del conocimiento humano para la comunicación en los campos técnico, económico y social".

2.2. Definición de Información. "Información es el conocimiento derivado del análisis de los datos".

Dato: Término derivado del verbo latín dare; que significa dar. Se refiere a hechos sin estructurar, sin forma; elementos susceptibles de observación directa. Desde el punto de vista informática, componentes elementales indivisibles de la información.

Información: Término derivado del verbo latín informare; que significa dar forma a. Este término se aplica convenientemente para referirse al conjunto de todos los datos que han sido orientados al usuario a través de una forma organizada.

Básicamente, la diferencia entre dato e información consiste en que los datos no son útiles o significativos como tales, sino hasta que son procesados y convertidos a una forma útil llamada información. Es por esto que se dice que la información es el conocimiento derivado del análisis de los datos.

2.3. Características Importantes. La información deberá tener ciertas características que harán posible su utilización; éstas son: traducción, interpretación, factor aglutinante, almacenamiento y recuperación.

Traducción.

La información que se vaya a utilizar deberá tener la facilidad de traducirse a un código que permita el manejo de esa información, ya sea por máquinas o por personas.

Interpretación.

Es el inverso de la traducción. Indica la facilidad que debe tener la información codificada de hacer posible la percepción de su concepto, ya sea por el hombre o por alguna máquina.

Factor Aglutinante.

La información deberá tener diversos factores que la aglutinen o relacionen según los diferentes usos a que esté destinada esa información.

Almacenamiento.

La información no sólo tiene capacidad de contar con uno o varios elementos que la asocien, sino que además debe tener la propiedad de agruparse físicamente aunque no necesariamente bajo el mismo patrón físico.

Recuperación.

La información, una vez interpretada y almacenada, y contando además con ciertos factores que la liguen y relacionen, se podrá transformar, mediante algún proceso, para ser utilizada en decisiones y acciones que necesiten de ella en sus partes o conceptos. De aquí se observa que aunque la acción y la decición son únicas, la información no lo es, ya que se puede utilizar para varias acciones y decisiones mediante un proceso que recupere la información de datos aglutinados.

2.4. Clasificación de la Información.

Se puede clasificar la información de la sisguiente forma:

Información Activa.

Es aquella información que al recibirse requiere iniciar una acción. Esta información debe ser precisa y oportuna.

Información Inactiva.

Es aquella información que al recibirse no requiere iniciar una acción. En un buen sistema esta información debe ser eliminada.

Información Recurrente.

Es aquella información que se genera a intervalos regulares.

Información no Recurrente.

Es aquella información que se formula ocasionalmente, siendo por

lo tanto más difícil de manejar que la recurrente.

Información Documentada.

Aquella de tipo formal que se registra por escrito o bien se conserva en forma codificada.

Información Oral.

Es aquella que no se registra por escrito y se pierde al terminar la comunicación. Esta información no es controlable, en tanto que la documentada sí lo es

Información Interna.

Es aquella que se genera dentro de la empresa.

Información Externa.

Es aquella que se genera en el ambiente de la empresa.

Información Histórica.

Es aquella que se utiliza como base para elaborar proyecciones futuras.

Es necesario aclarar que la información activa, recurrente, interna e histórica resulta la más adecuada para ser automatizada.

La información externa y las proyecciones a futuro son importantes para las organizaciones, debido a que ésta dedica la mayor

parte de su tiempo a la planeación. Los niveles inferiores de la decisión utilizan un mayor porcentaje de tiempo en funciones de control, mientras que los niveles superiores utilizan la mayor - parte del tiempo en funciones de planeación.

2.5. La Información y la Toma de Decisiones.

Para poder competir con eficacia en la economía moderna, las organizaciones actuales requieren una gran cantidad de información, con la que se obtendrán decisiones cada vez más precisas y con mayor rapidéz

La información es necesaria para tomar buenas decisiones, que se traducen en actuaciones acertadas, las cuales a su vez, permitirán lograr los objetivos buscados.

Uno de los principales problemas consiste en que normalmente se cuenta con información inadecuada, algunas veces por ser incompleta, superflua o poco clara, y otras veces por ser demasiado voluminosa de tal manera que ni siquiera puede ser manejable. Por lo tanto, la información útil será aquella que permita al responsable de tomar decisiones, formarse una idea clara y completa de la situación con suficiente anticipación, de tal manera que pueda tomar objetivamente las decisiones convenientes.

Decidir es tomar una resolución y seleccionar una alternativa de

entre varias que se presenten. Y el fin de la toma de decisiones está definido por la acción que surge al aplicar la alternativa seleccionada, teniendo presente que para efectuar una acción es necesaria una decisión que la anteceda. Así pues, el administrador requiere un método para escoger el mejor camino a seguir. Este método, frecuentemente llamado modelo de decisión, da la representación conceptual y permite al tomador de decisiones medir los efectos de las diferentes alternativas posibles. Este modelo debe incluir las especificaciones de una función objetivo.

El proceso que se sigue para tomar una decisión es el siguiente:

a) Objetivos. Elementos que nos indican hacia donde queremos ir. Estos deben ser claros, concretos y orientados a poder ser evaluados.

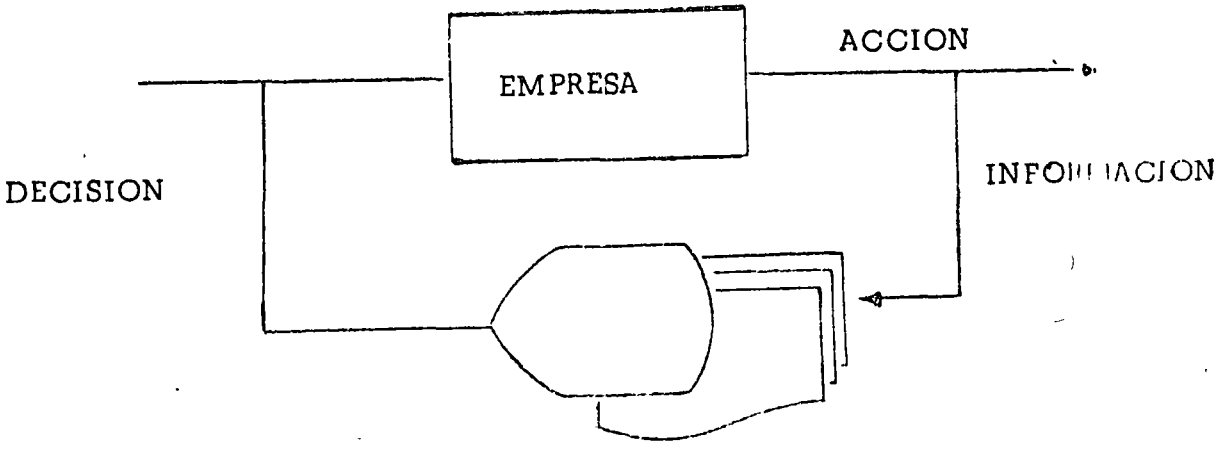
b) Información. Elementos que nos permiten conocer la situación actual y estimar la futura. Aquí se efectúan las diferentes etapas de la transformación de la infomación: percepción, recolección, clasificación, almacenamiento, proceso y recuperación.

c) Predicción. Procedimientos que nos permiten pronosticar o definir las diferentes alternativas.

d) Evaluación. Visualización de los resultados al aplicar cada una de las alternativas, y así seleccionar la más conveniente.

e) Ejecución. Aplicación de la alternativa seleccionada.

Podemos concluir que la decisión surge siempre que se tiene información acerca del estado del sistema, la cual como mecanismo de control del sistema, vá regulando las decisiones en función de las desviaciones en las acciones ejecutadas; de donde podemos observar que el sistema de información actua como mecanismo retroalimentador del "Sistema Empresa".



SISTEMA DE INFORMACION

Se observa, además, que debido a la incertidumbre, la decisión tomada puede ser de tipo determinista, en donde la selección de la alternativa está determinada por causas precisas. La decisión también puede ser de tipo probabilista, con lo cual se percibe que la decisión puede ser cierta o falsa.

Existen algunas consideraciones que intervienen en un problema de decisiones como lo son el tiempo al cual se proyecta la deci

sión el número de variables que intervienen en el problema, y el grado de incertidumbre respecto a los datos. Mientras mayor sea cada una de estas consideraciones la decisión será más difícil de obtenerse.

3 SISTEMAS

3.1 Definición de Sistemas.

Existe una gran variedad de definiciones sobre lo que constituye un sistema. La definición de sistema que en este trabajo se estima conveniente aceptar en la siguiente:

"Sistema es un conjunto de partes coordinadas cuyo objetivo común es lograr metas definidas".

3.2 Algunas Consideraciones sobre Sistemas.

Siempre que hablemos de sistemas deberemos tomar en cuenta ciertas consideraciones, las cuales se exponen a continuación:

1. Los objetivos del sistema considerado como un todo.
2. El medio ambiente del sistema, constituido por las restricciones fijas.
3. Los recursos del sistema.
4. Los componentes del sistema, sus actividades, metas y medidas de actuación.
5. La administración del sistema.

Estas cinco consideraciones ameritan que profundicemos un poco acerca de ellas.

Objetivos.

Se entiende aquí por objetivos las metas hacia las cuales tiende el sistema.

Resulta conveniente definir en primer termino a los objetivos del sistema como un todo; la ventaja de hacerlo se refleja en el hecho de evitar posteriores consideraciones erróneas acerca del sistema.

Por su importancia se debe tener cuidado al usar el término objetivo. Se hace aquí una distinción entre los objetivos reales y los objetivos establecidos de un sistema; esto es a consecuencia de que comunmente se señalan los objetivos de un sistema y la actuación de éste es totalmente independiente de dichos objetivos. Surge entonces la pregunta ¿Cómo saber si lo que nos ha señalado como objetivo del sistema es un verdadero objetivo? - Para diferenciar entre los dos tipos de objetivos mencionados se puede proponer la siguiente prueba, la cual puede llamarse "Principio de primacía": ¿Sacrificará el sistema, con pleno conocimiento otras metas para lograr el objetivo señalado? Si esto sucede entonces el objetivo señalado es un objetivo verdadero.

Podemos observar así que no resulta fácil determinar los verdaderos objetivos del sistema. Con el fin de librar esta dificultad se puede pensar en cambiar la intención de dar una declaración de objetivos por otra que consista en buscar una medida de actuación del sistema. Esta medida de actuación satisfacerá así mismo la necesidad de conocer el grado de funcionamiento del sistema, es decir, el grado en que han sido alcanzados los objetivos.

El Medio Ambiente del Sistema.

El medio ambiente lo constituye todo lo que esta afuera del sistema.

A este respecto podemos decir que el medio ambiente incluye todo lo que está fuera de control del sistema. El sistema no puede hacer nada o relativamente poco sobre el comportamiento del medio.

Según esto, el medio ambiente está integrado por aquello que es constante, fijo o dado.

El medio ambiente también incluye lo que determina la forma de operar del sistema; es decir, lo que influye sobre el comportamiento de éste. En el concepto de medio ambiente están implicadas las nociones de interrelación, interdependencia, interacción, y se acentúa la importancia de las entradas y salidas, pues el medio actúa en el sistema y éste se adapta o reacciona con el medio.

Para determinar si "algo" pertenece al medio ambiente se propone hacer las siguientes preguntas:
¿Podrá hacerse "algo" acerca de ello? ¿Influye en mis objetivos? Si las respuestas son no y sí, entonces se concluye que efectivamente está en el medio ambiente.

Los recursos.

Estos son los medios disponibles al sistema para la ejecución de las actividades necesarias para el logro de los objetivos.

Los recursos, al contrario del medio ambiente, son las cosas que el sistema puede cambiar y utilizar para su provecho; decidiendo para esto la forma adecuada de su utilización.

Al respecto diremos que no sólo se debe prestar atención a los recursos existentes, sino también a la forma en que pueden ser aumentados; es decir, debemos preveer situaciones futuras, incluso se asegura que un componente que se refiera al incremento de los recursos puede ser el mejor de los recursos.

Las Componentes del Sistema.

Se entiende por componentes las misiones, tareas o actitudes que el sistema debe realizar para lograr sus objetivos; es decir, por componentes del sistema nos referimos a funciones más que a grupos estructurales.

Surge la inquietud de saber por qué hablamos de funciones o misiones y no de departamentos o estructura administrativa. Esto se explica debido a que analizando misiones podemos determinar el valor de una actividad para el sistema total, mientras que intentarlo a través de la actuación de un departamento no resulta posible.

La Administración.

Por administración nos referimos a la generación de los planes para el sistema, o sea la conjugación de los otros aspectos ya considerados; objetivos, medio ambiente, recursos y componentes. De esta manera la administración establece las metas de los componentes, asigna los recursos y controla la actuación del sistema.

Al hablar de administración incluímos dos funciones básicas; planeación y control.

La planeación involucra todos los aspectos de fijación de metas, asignación de recursos, es decir lo visto anteriormente.

Control involucra tanto el ver que se ejecuten los planes; como hacer planes para los cambios; esto último debido a que en muchos sistemas los cambios son inevitables y debemos prepararnos para ellos.

Pensando en esto los planes deben ser objeto de revisiones periódicas y reevaluaciones. Es escencial pues, la planeación de los cambios ya que podría ser que los objetivos generales no se estipulasen correctamente, o que el medio no se definiese correctamente o que no se definiesen de una manera precisa los recursos o los componentes.

Asociado con la planeación y el control está el concepto de retroalimentación, ya que sin ella las funciones de planeación y con

trol resultarían totalmente inadecuadas.

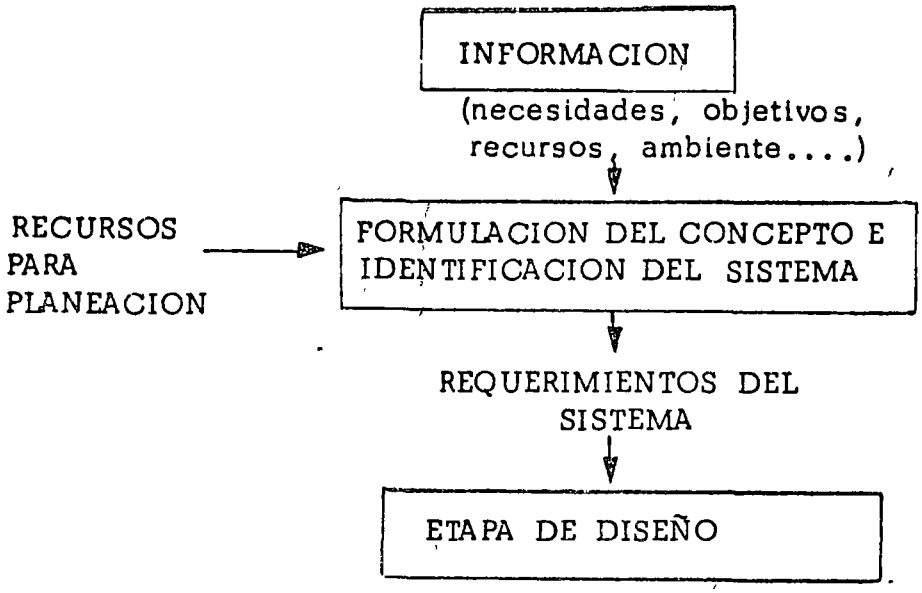
3.3 Ciclo de Vida de un Sistema.

El ciclo básico de un sistema comienza con la identificación de una necesidad y termina cuando el sistema se hace obsoleto.

Cualquier sistema real tiene un ciclo de vida: así por ejemplo algunos planificadores de sistemas urbanos indican que una ciudad tiene en general un ciclo de vida de setenta y cinco años y que necesita renovarse durante ese período para que no se vuelva obsoleta.

Por lo que debe incluirse en el diseño de cualquier sistema la suficiente flexibilidad para permitir su máximo desarrollo y uso.

El ciclo de vida se puede considerar como una serie de actividades de interés tanto para el usuario del sistema como para su creador. El usuario identifica y desarrolla la necesidad, los componentes del sistema y los conceptos requeridos para su operación y mantenimiento. De esta manera, el usuario provee la información para que el analista diseñe; el analista traduce esta información y elabora las etapas de diseño, producción e instalación de un sistema que satisfaga la necesidad identificada por el usuario y que puede ser operado y mantenido eficazmente, como se observa en la siguiente figura:



Planeación.

Planeación es el período inicial del ciclo de un sistema. Durante esta etapa se identifica la necesidad del sistema, se formulan los objetivos, las restricciones, etc. y se determina si estos son factibles.

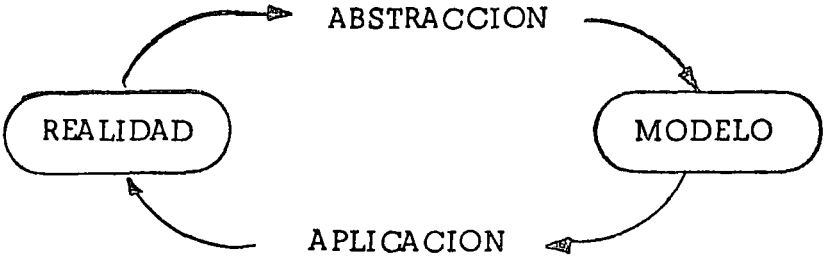
El resultado es la formulación del sistema y una serie de requerimientos para su implementación.

Este período es principalmente responsabilidad del usuario, él es el mejor informado de los recursos disponibles y de las necesidades que se deben satisfacer. El analista sin embargo, debe trabajar en conjunto con el usuario y traducir a un lenguaje cuantitativo el sistema.

El período de planeación inicialmente emplea información sobre la necesidad que se quiere satisfacer con el sistema, los recursos disponibles, el medio ambiente y las restricciones. Esta información inicial, como veremos más adelante, define las fronteras del sistema.

Adquisición.

El periodo de adquisición consta de todas aquellas etapas que incluyan el diseño, evaluación, producción e instalación del sistema. Este periodo es principalmente responsabilidad del analista. Debe transformar los requerimientos definidos durante el período de planeación en un modelo del sistema, el cual se utilizará después para construir e instalar el sistema.



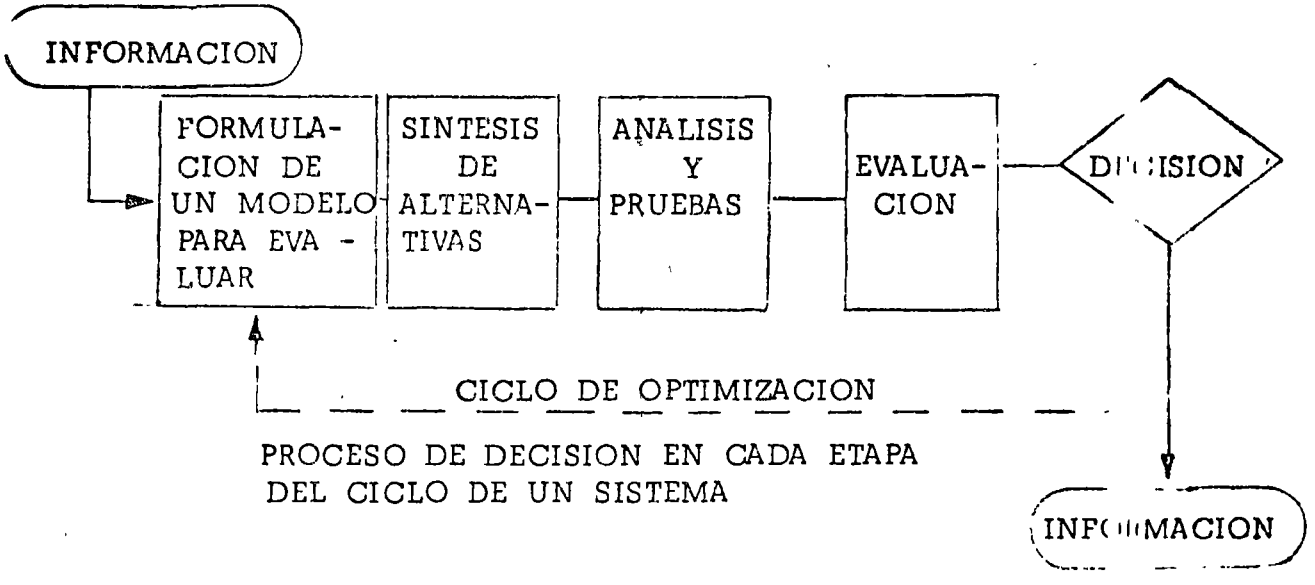
Uso.

El periodo de uso consiste en todas las actividades necesarias para operar y mantener el sistema, incluyendo modificaciones y mejoras periódicas para extender su vida, para satisfacer las necesidades cambiantes con el tiempo y finalmente para retirarlo.

De esta manera se completa el ciclo de vida de un sistema, lo cual implica la generación de nuevos requerimientos y entonces comienza de nuevo el ciclo.

Proceso Básico de Decisión.

Por otra parte, cada etapa del ciclo completo de un sistema se implementa utilizando el "proceso básico de decisión".



La entrada a este proceso es la información necesaria para identificar y definir el modelo. Esta información se obtiene de investigaciones y decisiones hecha en etapas anteriores y experiencia previa del personal.

El producto o salida de este proceso incluye información más detallada, organizada y exacta de los requerimientos del sistema óptimo para la etapa. La implementación de este "proceso básico de decisión" genera un diseño. Durante los períodos de planeación y adquisición este diseño consiste en la identificación, des-

cripción, producción e instalación del sistema óptimo; durante el período de uso, el diseño incluye la identificación de las mejores tácticas para la operación y desarrollo del sistema.

3.4 Clasificación de Sistemas.

Clasificación de los Sistemas en Función del Tiempo.

Los sistemas pueden clasificarse en base a la variable tiempo como:

a) Sistemas estáticos.

b) Sistemas Dinámicos.

Los sistemas estáticos son aquellos en que las decisiones pasadas no afectan a las decisiones futuras.

Los sistemas dinámicos son aquellos en que las decisiones pasadas influyen en las decisiones futuras. Estos sistemas a su vez se dividen en discretos y contínuos.

Los sistemas dinámicos discretos son aquellos donde las decisiones se toman a intervalos discretos de la variable tiempo.

Los sistemas dinámicos contínuos son aquellos donde las decisiones se toman contínuamente.

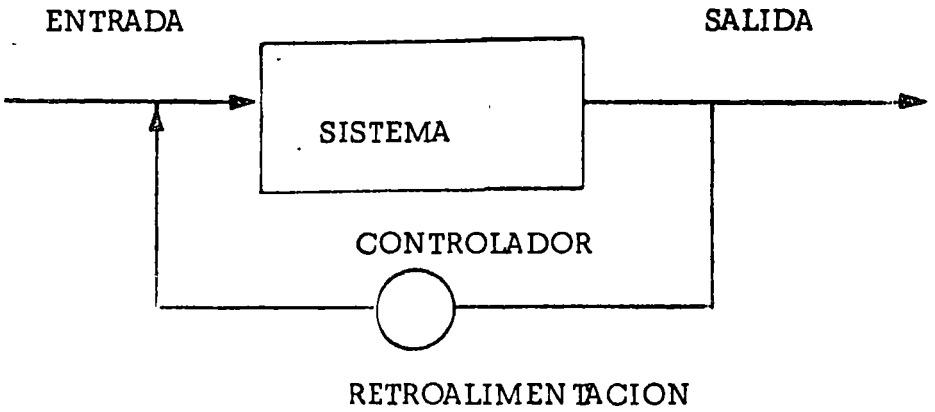
Clasificación de los Sistemas por el Tipo de Control.

En base al tipo de control, los sistemas pueden clasificarse en:

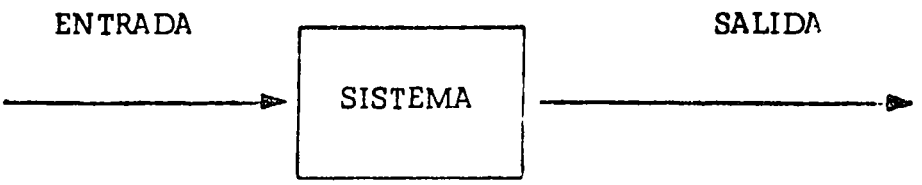
a) Sistema de Control de Malla Abierta.

b) Sistemas de Control de Malla Cerrada.

Sistemas de control de malla cerrada son aquellos sistemas en los cuales la salida tiene un efecto directo sobre la acción de control. Se les conoce como sistemas retroalimentados. Este tipo de control reduce el error del sistema. El control es realizado modificando la entrada en función de la salida.



Sistemas de control de malla abierta. Son aquellos sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control. El control se efectua precalculando las entradas del sistema de modo que la salida presenta las características deseadas.



4. SISTEMA DE INFORMACION.

4.1. Definición.

Se puede definir un sistema de información como un conjunto de elementos íntimamente ligados que tienen por objeto manejar datos y elaborar reportes que permitan tomar decisiones adecuadas para lograr los objetivos previamente fijados.

4.2 Generalidades.

Los sistemas de información se encargan de los flujos de información en una empresa.

Los sistemas deben ser diseñados en forma elástica, de tal manera que puedan modificarse según las necesidades de la organización.

Se debe tener cuidado al diseñar un sistema de información pues de lo contrario se corre el riesgo de diseñar un sistema poco práctico u obsoleto.

Problemas que deben ser superados para desarrollar un buen sistema de información:

1). Mal diseño de los reportes.

2). Repetición innecesaria de la información.

3). Inadecuados canales de comunicación.

4). Circulación de datos innecesarios.

5). Inadecuados métodos de proceso.

6). Inexistencia de una cadena de información desde la base a los niveles más altos.

PROCESO DE DATOS.

Toda información en un sistema es pasada a través de una entrada, un proceso y una salida.

ENTRADA: transmisión de los datos recolectados para ser procesados.

PROCESO: manejo lógico y matemático que debe realizarse sobre los datos.

Hay que tomar en cuenta las propiedades de cantidad, calidad y costo de proceso, partiendo de los datos que inician el flujo de un sistema.

SALIDA: distribución de la información resultante a los usuarios. Hay que tomar en cuenta el tiempo de respuesta requerido.

4.3 Funciones de un Sistema de Información.

La importancia de la información hace necesario, que los datos sufran transformaciones que acentúen su utilidad para que estos datos proporcionen mayor información. Además cierta información, así obtenida, se convierte en dato o en datos cuando es necesario transformarla de nuevo, con el objeto de darle mayor utilidad a esa información o generar otro tipo de información. Esta transfor

mación de la información consta de varias etapas, y son precisamente estas etapas las funciones básicas de un sistema de información. Estas funciones son: recolección, conversión, clasificación, transmisión, almacenamiento, proceso y recuperación. Antes de ver con mayor detalle cada una de estas etapas debe aclararse que la información no siempre pasará por todas ellas, ni tampoco en el orden indicado.

4.3.1 Recolección.

Forma en que son captados los datos fuente.

En esta etapa primero se diseña la forma de captación de la información, en función del fenómeno que se desea interpretar, de los objetivos que se buscan con esa captación, la capacidad de percepción, etc. A continuación la información es detectada por medio de sensores, pudiendo ser estos sensores, el ser humano, un sistema mecánico o electromecánico, o cualquier otro método que tenga capacidad de detectar o percibir esa información.

4.3.2 Codificación.

Cambio del código en que están escritos los datos a un código acorde con el sistema. Esto es, desarrollar un medio de conversión para facilitar el manejo de los datos con parámetros uniformes con el objeto de efectuar mediciones o lecturas.

4.3.3 Clasificación.

Una vez efectuada la recolección y/o la conversión de datos hay ocasiones en que es necesario clasificarlos, así como hacer una selección o depuración; pues es posible que la recolección no haya sido óptima, como también es posible que aprovechando los medios de comunicación, el tiempo, las formas de los recursos en general, se efectúen simultáneamente recolecciones de datos con utilidad diversa.

Es importante aclarar que la clasificación no necesariamente se debe efectuar posteriormente a la recolección y/o conversión, sino que es posible que durante éstas se vaya efectuando la clasificación.

4.3.4 Transmisión.

Proceso de mover los datos desde una localización a otra, físicamente.

Para que los datos tengan utilidad y sirvan como información deben estar disponibles para quien los necesite. Con esto se desea resaltar la función de esta etapa de la transformación, que es la de transportar la información, por medio de las vías de comunicación, en el momento y al lugar donde sea requerida.

De su utilización se deriva el evitar la duplicidad de trabajo en la elaboración de la información y además el poder contar con to

da la información disponible. Por otro lado, de su abuso pueden surgir complicaciones como la de saturar de información sin importancia a quienes deben tomar decisiones.

4.3.5. Almacenamiento.

Es la etapa donde la información es almacenada utilizando su característica de aglutinamiento o debido al proceso de agrupar la información que sea necesaria. Este proceso puede ser de dos formas: temporal o histórico.

El almacenamiento temporal es el proceso en donde la información requerida pierde utilización al transcurrir el tiempo debido al cambio de circunstancias y por ello no es necesario que la información esté almacenada indefinidamente.

El almacenamiento histórico de información es provocado por la necesidad de contar, con la información necesaria de los fenómenos ocurridos sin importar el tiempo que deba estar almacenada.

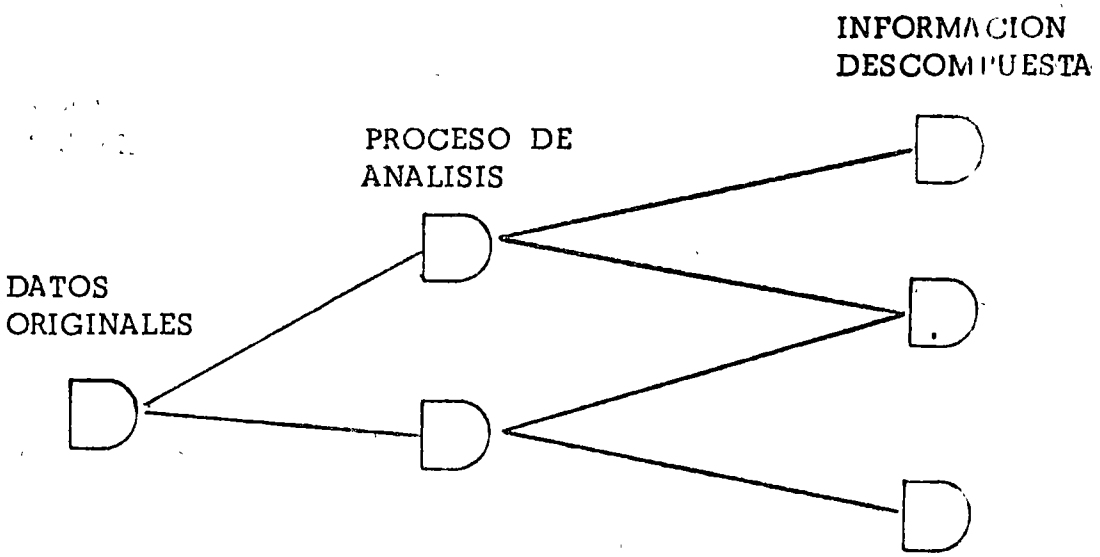
4.3.6 Proceso.

Es la etapa en la cual los datos o la información son utilizados para generar más información utilizando un procedimiento o una rutina previamente establecida. El procedimiento se divide en cuatro grandes grupos que son:

Análisis, Síntesis, Cálculo y Procesos Rutinarios.

4.3.6.1 Análisis.

Es el proceso mediante el cual los datos se descomponen al detalle en todas y cada una de sus partes. En este proceso la información dada en poco volumen, un dato, un informe, una decisión, etc. se descompone en una gran cantidad de datos o en un gran volumen de información.

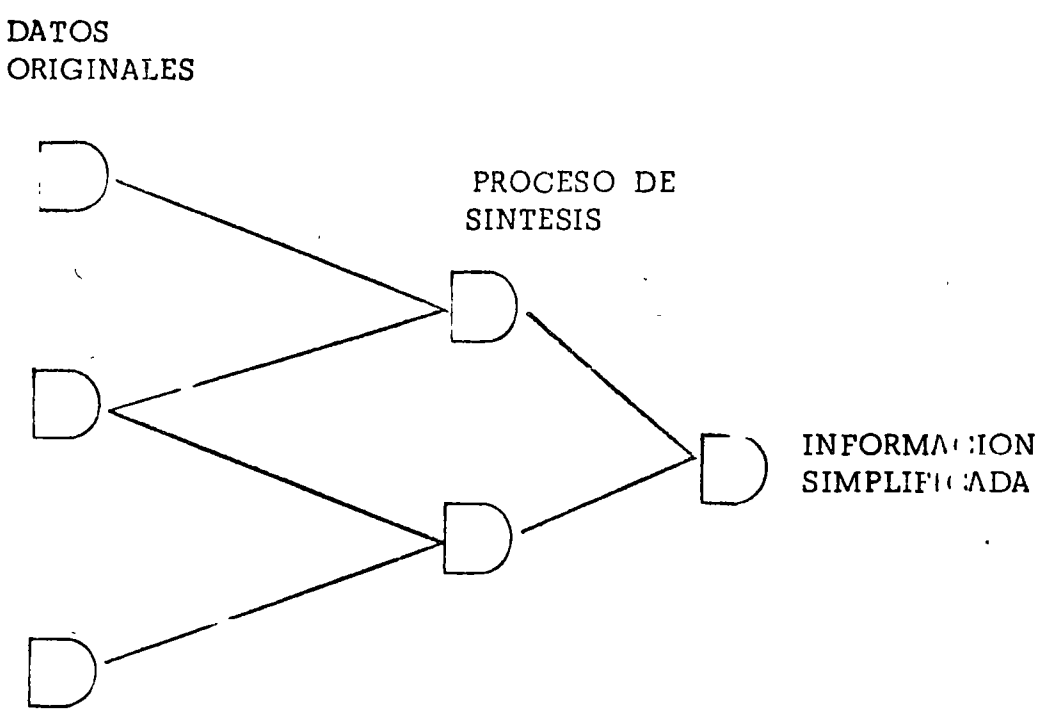


PROCESO DE ANALISIS DE LA INFORMACION.

4.3.6.2 Síntesis

Es un proceso cuyo resultado es la simplificación de la información, proporcionando menos datos y a veces sin aclarar detalles de cómo se llegó a la simplificación. En este proceso un gran volumen de datos se reduce a un número menor, un resumen, un informe, que por ser mayor utilidad, proporciona mayor informa-

ción que el volumen de datos antes de reducirse o sintetizarse.



PROCESO DE SINTESIS DE LA INFORMACION

Los datos sintetizados proporcionan mucha información, que puede ser utilizada en la toma de decisiones, a niveles jerárquicos superiores dentro de una empresa.

4.2.6.3 Cálculo.

Es la etapa en donde la transformación de la información requiere un conjunto de variables, constantes, tablas, o fórmulas para efectuar operaciones lógicas y matemáticas que produzcan los resultados requeridos por el sistema. Este proceso implica la utilización de los procesos de análisis y/o síntesis en su desarro-

llo, aplicado principalmente en problemas técnicos.

4.3.6.4 Procesos rutinarios.

Este proceso de información es una particularidad del proceso de cálculo, pero que además se generaliza para varias aplicaciones sin que el cálculo desarrollado tenga modificaciones esenciales. La importancia de este proceso radica en el sentido de que si por alguna decisión determinada se han establecido las etapas que comprende el proceso de toma de decisiones y es de carácter repetitivo, entonces la totalidad del proceso de decisión se puede mecanizar.

4.3.7 Recuperación.

Etapa de la transformación de la información donde ésta es recobrada utilizando algún proceso. Esto es importante ya que al efectuar la interpretación de la información que tiene un conjunto de datos se observa que ese conjunto de datos tiene dos tipos de información: primaria y secundaria.

La información primaria es la que posee un dato o conjunto de datos tratados como unidad o registro, y la información secundaria es la que se obtiene utilizando los nexos de la información almacenada y es por esto precisamente que la recuperación es una función sumamente importante.

4.4 Tipos de Sistemas de Información.

Existen básicamente cuatro tipos de sistemas de información: manual, mecánico, electromecánico y electrónico.

Los sistemas de información manual generalmente implican archiveros con folders, reportes escritos, cartas, etc., es decir, todas aquellas funciones básicas que son ejecutadas a mano. Los sistemas mecánicos de información emplean instrumentos mecánicos tales como las máquinas contadoras para ejecutar una o más funciones básicas de un sistema de información, aunque algunas funciones continúen ejecutándose en forma manual. Los sistemas electromecánicos de información hacen uso de máquinas que contienen una parte mecánica y otra eléctrica tales como las perforadoras de tarjetas y perforadoras de cintas de papel. Los sistemas electrónicos de información permiten el registro, el almacenamiento y el procesamiento de datos por computadoras electrónicas.

Los sistemas electrónicos son los más sofisticados y automáticos entre los tipos comunes de sistemas de información. Los sistemas manuales son los más simples y fáciles de manejar.

Cuando el volumen de información que va a manejarse se incrementa y los requerimientos de exactitud son mayores, se hace más urgente la necesidad de obtener métodos de información más completos y sofisticados. Es por esto por lo que la conversión de las técnicas de procesamiento manual a las de procesamiento mecáni-

co, electromecánico o electrónico se hace necesaria.

Debe tomarse en cuenta que raramente existe en la práctica un sistema de un solo tipo exclusivamente. Un sistema electrónico puede usar dispositivos mecánicos o electromecánicos, y algunas funciones pueden ser ejecutadas manual o mecánicamente en un sistema electromecánico. La tabla 4.1. muestra algunas técnicas representativas usadas para ejecutar las funciones de los cuatro tipos de sistemas antes mencionados.

4.4.1 Sistemas de Información Manuales.

En los más simples sistemas manuales de información los datos son recolectados manualmente usando lápices o plumas y marcando en documentos de papel para representar caracteres alfabéticos y numéricos. Estos documentos son generalmente transferidos de un lugar a otro manualmente.

La información plasmada en papel puede ser almacenada en cajas, escritorios o mesas. Un almacenaje mas permanente se puede lograr por medio de gabinetes, con archivos que contengan folders, divisiones alfabéticas, etc.

Cuando se necesita un documento específico es necesario pasar a través de muchos otros documentos para llegar al que se busca.

F I G U R A IV. 1.

TIPO DE SISTEMA	RECOLECCION DE DATOS	CONVERSION DE DATOS	TRANSMISION DE DATOS	ALMACENAMIENTO DATOS	PROCESAMIENTO DATOS	RECUPERACION DE INFORMACION Y REPORTES
Manual	Documentos escritos en forma manual	No hay generalmente	Mensajeros, teléfono, correo, memorandum, etc.	Documentos de papel, gabinetes de archivo	manualmente con uso de utensilios, reglas de cálculo, ábacos, etc.	Información manual, lápiz, pluma, marcadores, etc.
Mecánico	Relojes checadores, máquinas de escribir, cajas registradoras.	Limitada No hay generalmente.	Manual, tubos neumáticos,	Documentos de papel, gabinetes de archivo	En forma manual usando calculadoras manuales, sumadoras, máq. de registro.	Información manual con máq. de escribir, ma de escritura sobre tarjetas registradoras.
Electromecánico	Manual, Máquinas de escribir cajas registradoras, *Tarjetas con marcas *Perforadas	Tarjetas perforadas, Cintas de papel perforadas	Teletipo Teléfono	Tarjetas perforadas, Cintas de papel perforadas	Por medio de verificadoras clasificadoras, intérpretes, intercaladoras, reproductores, tabuladoras, calculadoras.	Información mecanizada con el uso de tabuladoras sobre formas impresas, películas, proyectores.
Electrónico	Manual, Tarjetas perforadas, cintas perforadas, registradoras ópticas de datos, lectores de caracteres magnéti-	Tarjetas perforadas, Cintas de papel perforadas, discos, cintas magnéticas	Teletipo Teléfono, Transmisión Centros automáticos de switcheo	Discos magnéticos, tarjetas magnéticas, cintas magnéticas tambores magnéticos, nucleos magnéti-	Programas almacenados en el CPU	Impresos de alta velocidad, pantallas de rayos catódicos, consolas terminales, máq. de escribir para acceso directo.

Los datos pueden ser clasificados, acomodados y editados manualmente. Algunas veces los datos deben ser reordenados en diferentes documentos, estos cambios son hechos manualmente por dependientes. Si es necesario hacer cálculos de los datos se hacen manualmente, y posteriormente son enviados a registros o folders.

Los reportes escritos pueden ser preparados después de que la manipulación y los cálculos de los datos han sido ejecutados. Estos reportes consisten normalmente en registros y folders archivo, los cuales han sido arreglados para reflejar las condiciones ocurrentes.

Las presentaciones con gis y pizarrón u otros medios visuales suelen ejecutarse cuando la información está hecha para presentarse a grupos grandes.

Los métodos manuales son lentos e ineficientes y además, cuando solamente son usados métodos manuales durante el procesamiento de datos suelen ocurrir errores. Sin embargo, los requerimientos de información suelen ser simples en muchas organizaciones y por lo tanto el sistema de información manual resulta ser el más económico y viable en estos casos.

Cuando el volumen de datos aumenta y los requerimientos de procesamiento llegan a ser más extensos, se hace necesario el uso de sistemas de procesamiento más sofisticados.

4.4.2 Sistemas Mecánicos de Información.

Los sistemas mecánicos de información emplean instrumentos mecánicos para el procesamiento de datos. Sin embargo, en estos sistemas algunas funciones aún son ejecutadas en forma manual. Las técnicas mecánicas son normalmente usadas para hacer el procesamiento más rápido o más legible de lo que es posible con las técnicas manuales. También es posible implementar la adecuación de codificación, cálculos, etc. por el uso de técnicas mecánicas.

Las máquinas de escribir pueden ser usadas para registrar cuentas de datos en los sistemas mecánicos, cajas registradoras, impresoras de tarjetas de crédito, checadores y otros instrumentos mecánicos pueden también ser utilizados para recolectar datos. Para la comunicación de datos de un lugar a otro en distancias cortas son utilizados normalmente tubos neumáticos. Métodos manuales de comunicación de datos tales como el correo o servicio de mensajeros pueden ser usados si es necesario.

El papel común es generalmente usado tanto en el almacenaje temporal como en el permanente. Los datos contenidos en hojas de papel generalmente estarán en forma de impresos ó escritos a máquinas y no en forma manual. Las operaciones de manipulación de datos deben todavía ser ejecutadas en forma manual la mayoría de los casos, una posible excepción es donde los datos son alamcenados en tarjetas perforadas. Estas tarjetas pueden ser clasifi-

cadas mecánicamente usando las señales necesarias

Las máquinas de contabilidad, las cuales combinan las funciones de las máquinas de escribir y las máquinas sumadoras pueden ser usadas para llevar a cabo operaciones de procesamiento de datos. Estas máquinas son capaces de sumar, restar, imprimir y pueden checar la adecuación de resultados de operaciones previas. Los cálculos de datos también pueden ser hechos en máquinas sumadores y calculadoras.

Las máquinas de escribir son usadas para reportar salida de información. Las máquinas de contabilidad también pueden ser usadas para preparar salida de información. Las presentaciones en grupos pueden ser hechas con proyectores o retroproyectores.

El uso de instrumentos mecánicos puede incrementar la rapidez y adecuación de operaciones en gran medida. Sin embargo, el procesamiento de datos no es contínuo, y por lo tanto el operador debe tomar los resultados de una máquina y transferirlos a otra. Se estará más cerca del procesamiento contínuo y automático de datos cuando se use equipo electrónico o electromecánico.

4.4.3 Sistemas Electromecánicos de Información.

Los métodos de procesamiento mecánico y manual, permiten que los datos sean expresados en forma de caracteres alfabéticos o numéricos, escritos o impresos en documentos de papel. Antes de que

los datos puedan ser aceptados por sistemas electromecánicos deben ser convertidos en documentos perforados, los cuales pueden ser leídos por máquinas electromecánicas. Estos documentos pueden ser tarjetas perforadas o cintas perforadas.

En la mayoría de los casos los datos contenidos en los documentos fuente deben ser convertidos a una forma de lectura apropiada para la máquina. Sin embargo, es posible utilizar un equipo capaz de producir tarjetas perforadas como un producto de codificación de un documento fuente. Este procedimiento permite al usuario tener datos en ambas formas de lectura; humano y de máquina y además con un mínimo de costo extra e inconvenientes.

Cuando las tarjetas son perforadas los datos contenidos en ellas pueden ser impresos automáticamente en la parte alta de la tarjeta por la máquina perforadora. Si un operador humano necesita acceso a cierta información que se encuentra en alguna de las tarjetas solamente necesita leer lo que está impreso en la parte superior de la tarjeta.

Una vez que los datos han sido perforados en tarjetas o en cinta de papel pueden ser archivados para procesarlos, mas adelante o inmediatamente.

Un archivo completo puede ser almacenado en uno o maspaquetes de tarjetas, y estas pueden ser almacenadas permamentemen-

te en gabinetes especiales. La cintas de papel son también fáciles de almacenar, pero tienen la desventaja de almacenar datos solamente en forma de lectura de máquina y orden serial. - Estas características hacen difícil localizar un registro dado o impráctico para los humanos leer el registro directamente de las cintas en la mayoría de los casos.

Los clasificadores de tarjetas perforadas son utilizados para clasificar nuevas tarjetas, en el mismo orden en el cual están arregladas en archivos las tarjetas ya existentes.

Las posibilidades de manipulación de datos con cintas de papel perforadas son limitadas, requiriendo repreforación de las cintas en la mayoría de los casos.

Un archivo de tarjetas combinado puede ser pasado a través de la máquina contadora (tabulador) para ejecutar cálculo de datos y operaciones de procesamiento de archivo. La máquina contadora no sólo ejecuta cálculos requeridos para poner al día los registros, sino que puede imprimir también reportes sumários, reportes de excepción y detallados listados de tarjetas. Cuando se usa en conjunción con un perforador la máquina contadora puede crear nuevos registros en tarjetas perforadas. Tableros alambrados de control intercambiables dan a la máquina considerable flexibilidad en la ejecución de cálculos y reportes operacionales.

Los sistemas electromecánicos perforadores de tarjetas tienen enorme ventaja en rapidez y exactitud sobre los sistemas manuales y mecánicos. Sin embargo para llevar a cabo todos los procesamientos necesarios en un sistema de perforador de tarjetas, aún es necesario que un operador esté llevando las tarjetas de una máquina a otra. El equipo perforador de tarjetas también está limitado a la rapidez con la cual lee y perfora las tarjetas. Para un más sofisticado, rápido y automático procesamiento de información, es necesario ir a la electrónica.

4.4.4 Sistemas Electronicos.

Los sistemas electrónicos de información requieren que los datos sean transladados hacia impulsos magnéticos y electricos, aceptables para los instrumentos electrónicos. Los datos pueden ser recolectados inicialmente en una gran variedad de formas. Esto incluye instrumentos electrónicos analógicos y digitales como medidores de datos, lectores caracteres ópticos o magnéticos y teclados de acceso directo, etc. Ninguno de estos instrumentos requiere más adelante conversión de datos. Sin embargo, si los datos son recolectados originalmente en tarjetas perforadas o en cinta de papel perforado es conveniente sean convertidos a una forma en la cual una computadora los pueda aceptar eficientemente.

Los archivos de información son almacenados en carretes de cintas magnéticas, tarjetones de cintas magnéticas, discos magnéticos o tam

bores magnéticos. Las cintas magnéticas proveen un gran (y económico) volumen de almacenaje permanente de datos, aunque el acceso a información almacenada en cintas magnéticas es posible sólo en un orden serial y además los datos no están en forma de lectura humana. Los tarjetones de cintas, el disco y el tambor generalmente, son mas caros para operar que las unidades de cintas magnéticas y generalmente tienen menos capacidad de almacenaje, sin embargo permiten el acceso a datos almacenados en forma aleatoria. Los núcleos magnéticos son usados para un almacenaje temporal.

La unidad de proceso central de una computadora ejecuta cálculos de datos y manipulaciones de datos bajo el control de un programa almacenado.

El concepto de programa almacenado permite a la computadora seleccionar uno de varios cursos de acción, basado en entrada de datos o procesamiento de resultados, también como para repetir el mismo conjunto de instrucciones para diferentes modelos de datos. El mismo programa puede ser usado muchas veces para ejecutar operaciones dadas sin necesidad de volver a escribir el programa.

La salida de información de los sistemas electrónicos es típicamente en forma de reportes impresos, ya sea en impresoras de alta velocidad o en displays visuales en tubos de rayos catódicos. En

algunos casos las salidas pueden ser en forma de tarjetas perforadas o en cintas de papel perforadas, si el almacenamiento es temporal o usado como entrada para otro proceso de operaciones.

Los sistemas electrónicos de información están diseñados para aplicaciones en las cuales grandes cantidades de datos deben ser colectados y analizados y donde los resultados significativos deben ser mostrados y recuperados. Tales sistemas son también indicados para aquellos casos en los cuales el procesamiento de resultados debe ser comparado, para predeterminar reglas de de decisión como una base para decisiones más simples.

La rapidés de operación y la gran capacidad de almacenaje de estos sistemas les permite manejar grandes volúmenes de datos y trabajos de complejo procesamiento en forma económica y eficiente.

5. LOS SISTEMAS DE INFORMACION EN LA ADMINISTRACION Y EL CONTROL.

5.1 Introducción.

Se ha resaltado la importancia de la información en la actualidad, así como la influencia de los sistemas de información en todo tipo de empresas, negocios, etc. por ejemplo la industria de la construcción no es una excepción en cuanto a la influencia que en ella tiene la información, sino que además es una de las industrias que más requiere de los sistemas de información para el adecuado control de sus obras y proyectos.

Un sistema de información es indispensable para llevar adecuadamente cualquier proyecto, tanto en la planeación como en el control en puntos básicos, tales como análisis y configuración del proyecto, costos, supervisión y control de las actividades.

Es necesario aclarar que se pueden crear una gran cantidad de sistemas de información en esta rama, en función de los requerimientos particulares de cada empresa o de cada proyecto. Sin embargo la mayoría de dichos sistemas están enfocados hacia la planeación y el control de las actividades tanto en tiempos como en costos.

5.2. Objetivos.

Se puede señalar, como objetivo principal de los sistemas de información en esta rama, el proporcionar la información necesaria para el adecuado control del desarrollo de las obras.

Respecto a este objetivo cabe hacer las siguientes consideraciones:

Es comun denominar como "Sistemas de Control de Obras" a los sistemas que cumplan el objetivo antes mencionado.

Los sistemas de control de obras permiten, como su nombre lo indica, el control de tiempos y costos en las obras, tomando en cuenta para ello todos aquellos factores que de alguna manera influyen en la duración y el costo de éstas como las restricciones y los recursos disponibles.

Estos sistemas, al proporcionar la información necesaria para el control de las obras, trabajan como un auxiliar muy importante de los directores o responsables de éstas, en sus funciones de dirección y supervisión.

5.3. Ventajas.

Las ventajas de los sistemas computarizados de control de obras son múltiples. A continuación se mencionan las mas importantes:

Obtener información en el instante deseado del desarrollo, situa-

ción y características de las diferentes obras que se están manejando.

LLevar un control automático del desarrollo de las obras.

Facilitar la toma de decisiones de los encargados, sobre las obras que se manejen.

Reducir al mínimo el error en la transcripción de la información, haciéndola más confiable.

Conservar un histórico general de las obras que pueda servir de ayuda en futuras planeaciones.

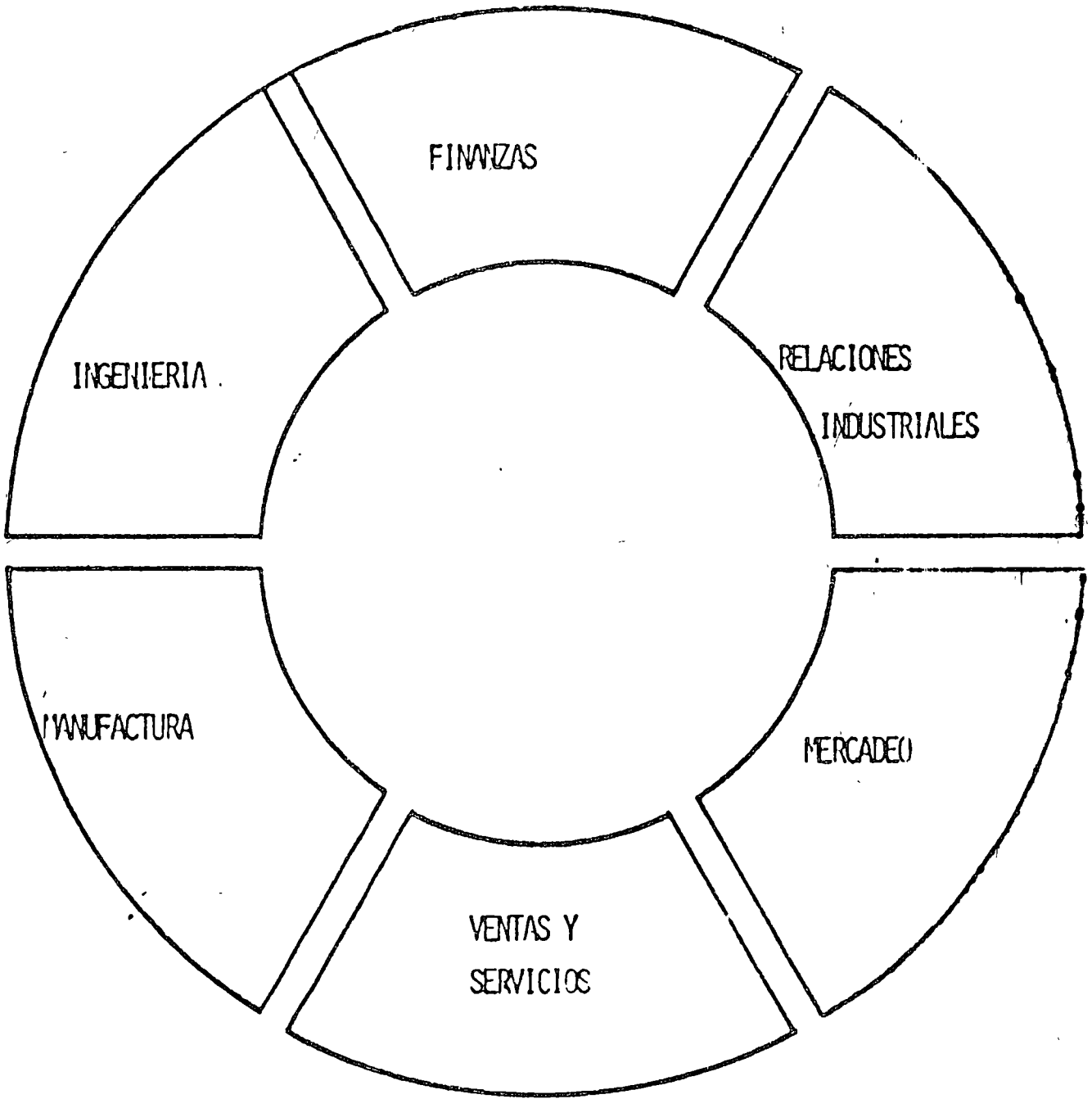
En la actualidad estos sistemas están alcanzando un gran auge en la Ingeniería Civil, agregandose a los notables avances en relación a la tecnología disponible para la realización de una obra, como son los aplicados en el diseño y construcción. Gracias a los sistemas de información los notables avances se han logrado ahora en la planeación y control de las obras.

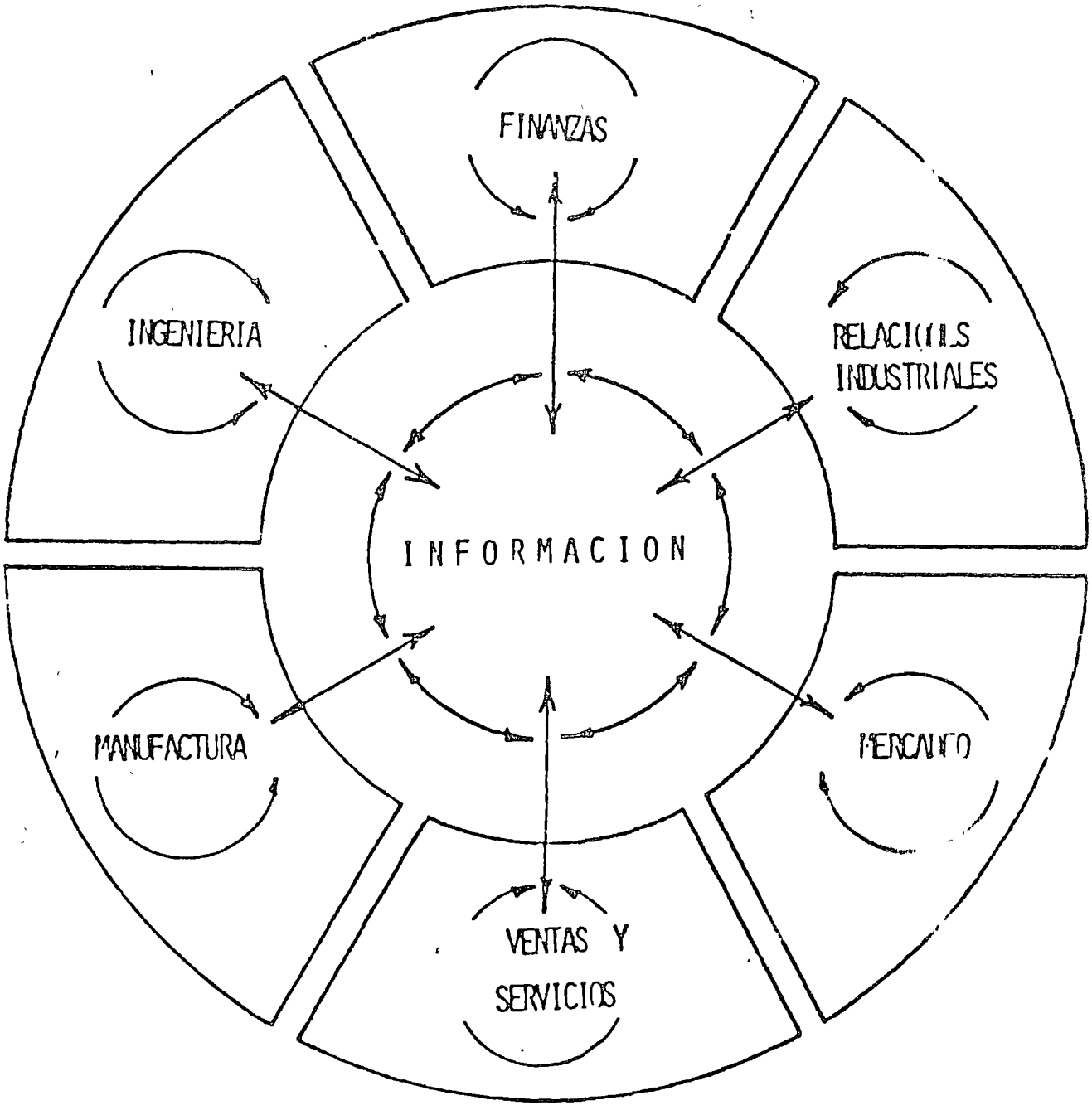
6. SISTEMAS ELECTRONICOS DE COMPUTO.

Generalidades

Los sistemas de cómputo electrónico, han sido a lo largo de su relativamente reciente invención, mejorados en forma por demás sorprendente esto es si tomamos en consideración que hace solo algunos años los equipos funcionaban en base a bulbos electrónicos, con fuertes limitaciones en velocidad, capacidad, confiabilidad, etc. y que en solo unos cuantos años es posible contar con computadoras extraordinariamente mas baratas, eficientes, potentes y confiables, lo que ha permitido que el usuario de cómputo electrónico en casi todos los niveles, tenga acceso a ellas en forma facil y sencilla por tanto mas eficiente desde el punto de vista programación, así como que en la mayoría de las ocasiones cuente con terminales remotas que le evitan el tener que trasladarse a correr sus trabajos hasta el local donde se encuentra la computadora.

Por otra parte en cuanto a los usuarios de información, que de una u otra manera está mecanizada electrónicamente, cuentan con multitud de formas para disponer de la información, al disponer en muchos casos de terminales remotas y no solamente con listados, lo que fue la forma tradicional de recuperar información.


FINANZAS
RELACIONES
INDUSTRIALES
MERCADEO
VENTAS Y
SERVICIOS
MANUFACTURA
INGENIERIA

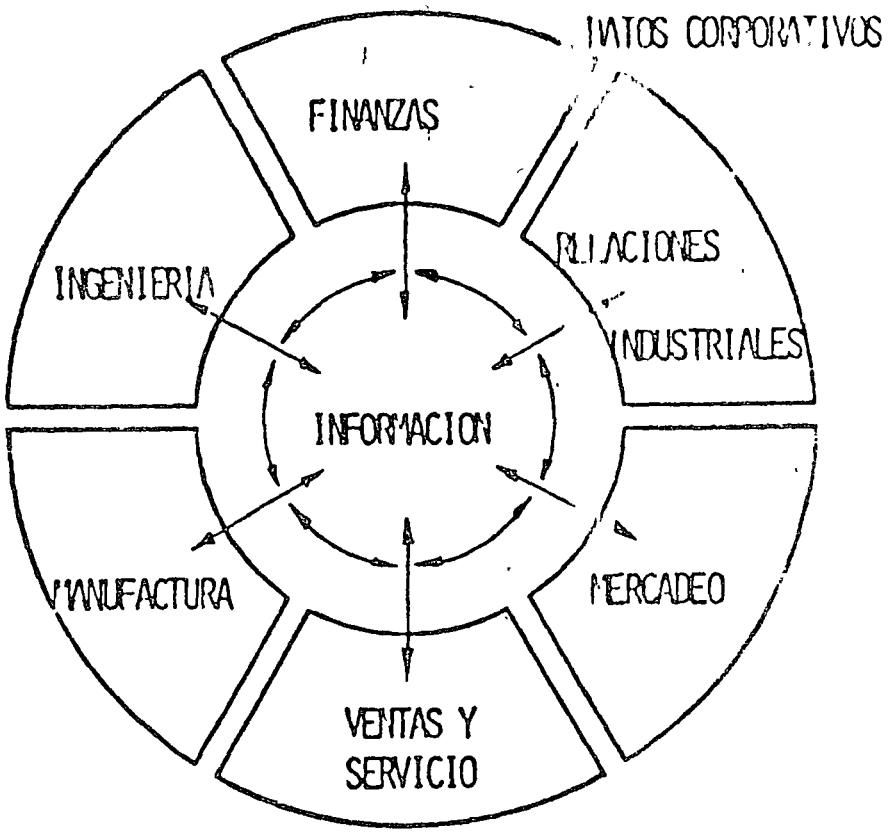

FINANZAS
INGENIERIA
RELACIONES INDUSTRIALES
INFORMACION
MANUFACTURA
MERCADEO
VENTAS Y SERVICIOS

TAREAS DE TRABAJO	PERSONAL
• DIRECCION ESTRATEGIA TACTICA	GERENCIA
• CONTROL COMPAÑIA DEPARTAMENTO GRUPO	GERENCIA
• OPERACION	NO - GERENCIAL

TAREAS DE TRABAJO

REQUERIMIENTOS DE DATOS

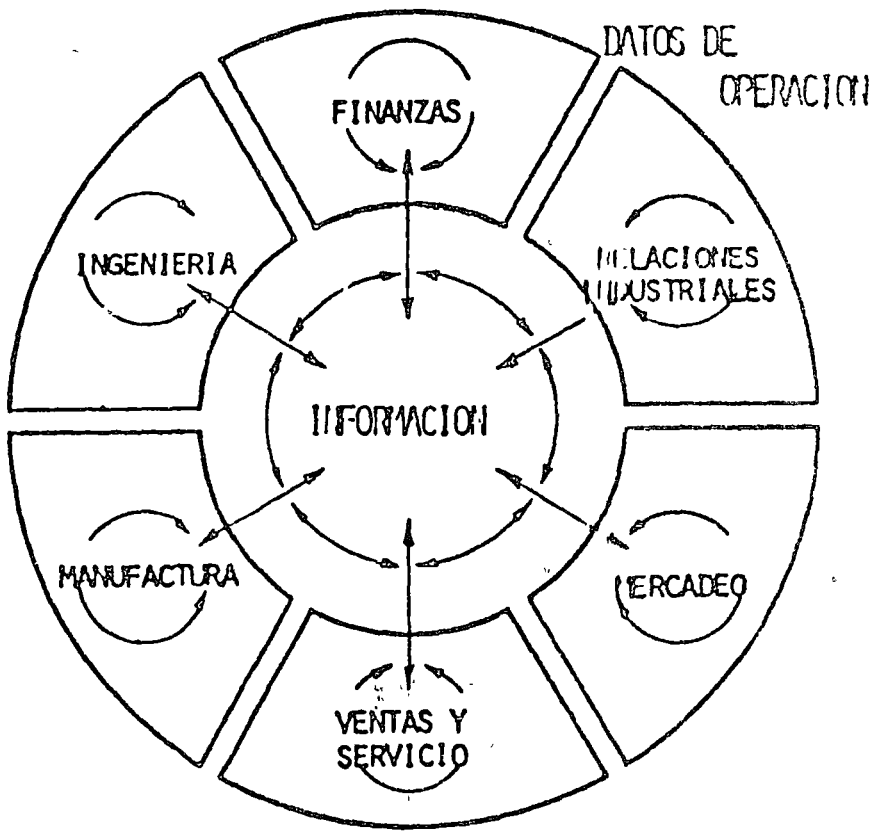
* DIRECCION
  - ESTRATEGIA
  - TACTICA
* CONTROL
  - EMPRESA



DEPARTAMENTO

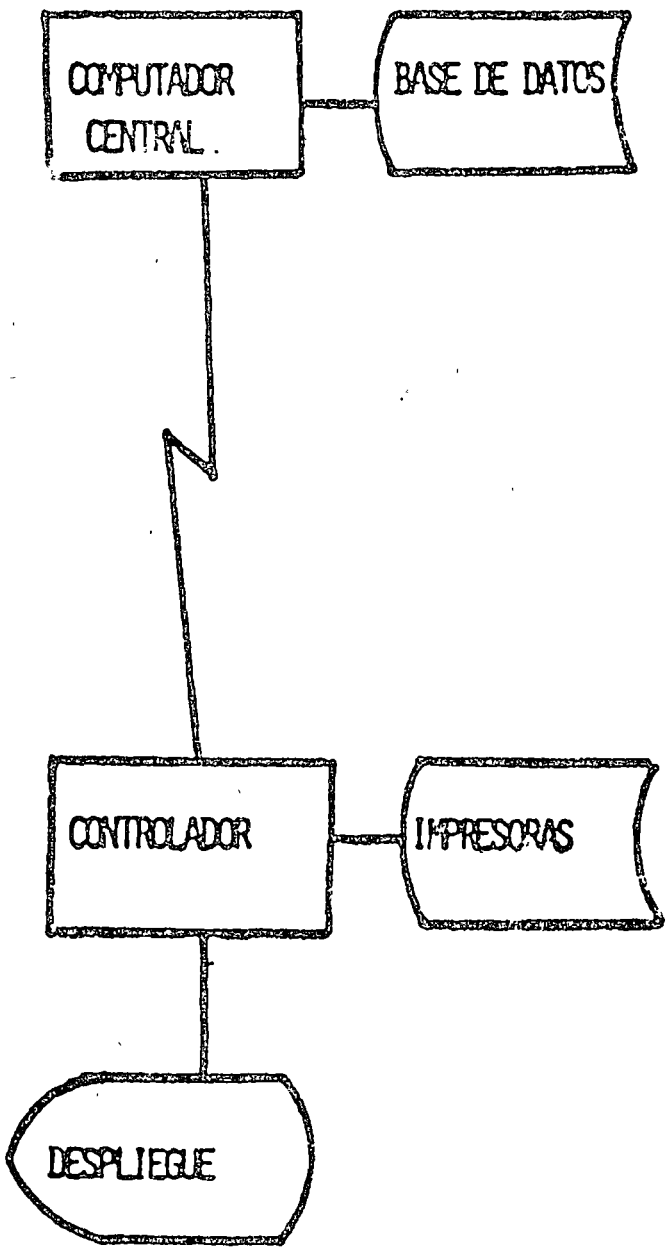
.. GRUPO

* OPERACION



1. SOLUCION EN LINEA

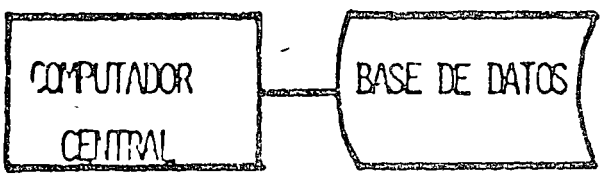
CONSIDERACIONES



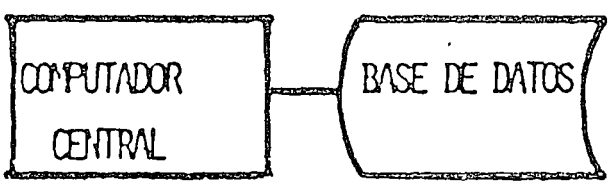
- RECURSOS DEL COMPUTADOR CENTRAL
- COSTO DE LINEAS
- CONFIABILIDAD
- TIEMPO DE RESPUESTA

2. SOLUCION DESCENTRALIZADA

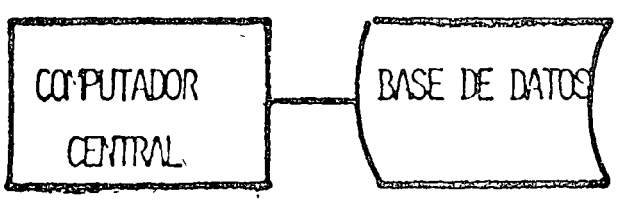
CONSIDERACIONES



- SIN BASE DE DATOS CORPORATIVA

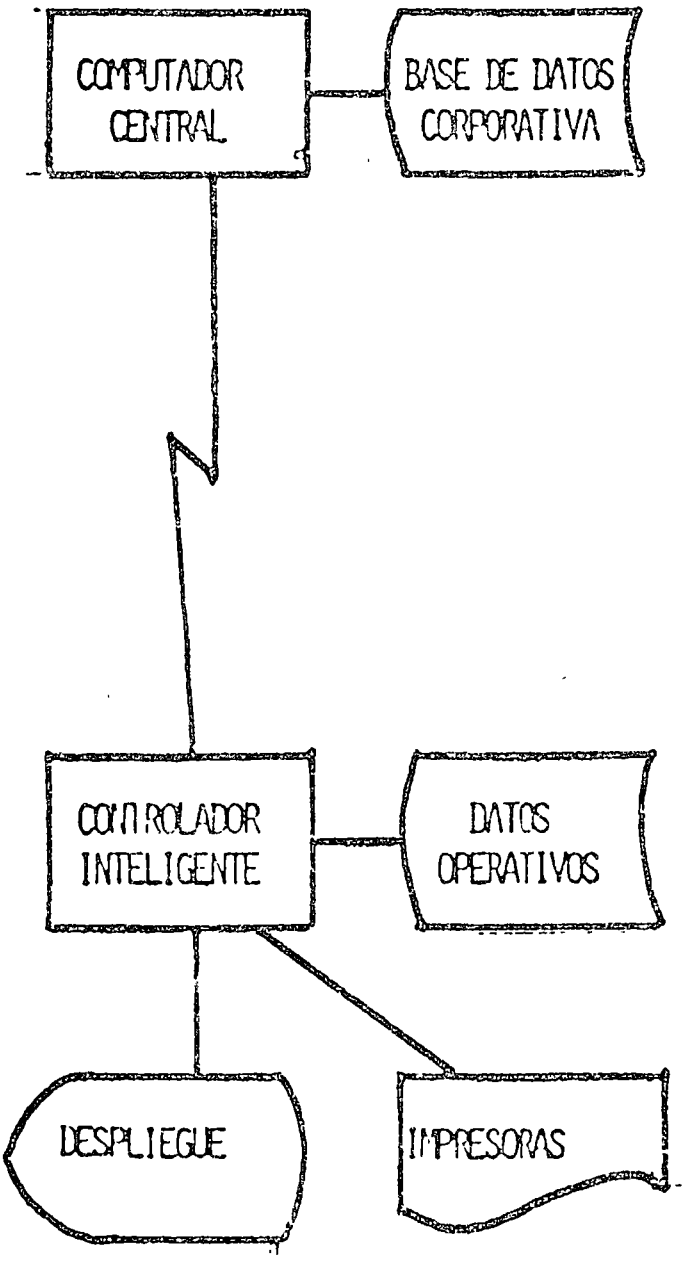


- SIN CONTROL DE LA INFORMACION:
  - DATOS
  - PROCESO
  - APLICACIONES



- RECURSOS DUPLICADOS:
  - DATOS
  - EQUIPO
  - PERSONAL

3. SOLUCION CON PROCESO DISTRIBUIDO



CONSIDERACIONES

- RECURSOS DEL COMPUTADOR CENTRAL
- BASE DE DATOS CORPORATIVA
- CONTROL DE LA INFORMACION:
  - DATOS
  - PROCESO
  - APLICACIONES
- COSTO DE LINEAS
- DISPONIBILIDAD
- TIEMPO DE RESPUESTA
- ELIMINA DUPLICIDAD DE RECURSOS:
  - DATOS
  - EQUIPO
  - PERSONAL

EL PROCESO DISTRIBUIDO SATISFACE LOS:,

REQUERIMIENTOS DE PROCESO DE DATOS PARA USUARIOS

- CONTROL PROPIO DE LA OPERACION DE PROCESO
- OPERACION SIMPLE DEL SISTEMA
- HABILIDAD PARA CORRER MUCHAS APLICACIONES CONCURRENTEMENTE
- HABILIDAD PARA AGREGAR FACILMENTE NUEVAS APLICACIONES
- HABILIDAD PARA MANIPULAR DATOS
    - INTRODUCIR
    - EDITAR
    - CALCULAR
    - ACTUALIZAR
    - BORRAR
    - DESPLEGAR
    - IMPRIMIR
- BUEN TIEMPO DE RESPUESTA DEL SISTEMA
- SEGURIDAD DE LA INFORMACION
- EQUIPO Y PROGRAMACION CONFIABLE

DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES EN EL PASADO

- VARIEDAD DE TECNOLOGIAS
- UN ENFOQUE DE DISEÑO NO ESTANDAR
- VARIEDAD EN LA DISCIPLINA DE LINEA
- APLICACIONES DEPENDIENTES DE LAS TERMINALES
- UN MEDIO AMBIENTE CONFUSO

PROBLEMAS RESULTANTES

- VARIEDAD EN LAS DISCIPLINAS DE LINEA
- DIRECCIONAMIENTO DE TERMINALES MEZCLADO
- CONTROLES DE ENLACE MULTIPLES
- APLICACIONES DEPENDIENTES DEL DISPOSITIVO
- REDES DEDICADAS
- DISPONIBILIDAD DE LA TERMINAL
- APLICACIONES NUEVAS
- MANTENIMIENTO DEL PROGRAMA

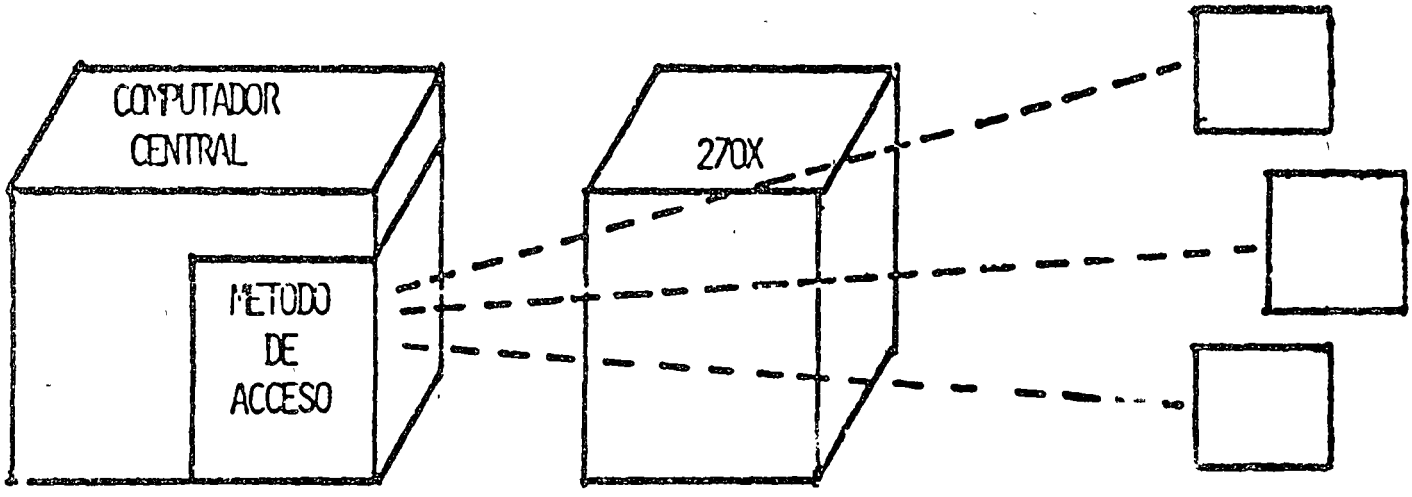
SUMARIO - LIMITACIONES

- VARIEDAD DE DISPOSITIVOS
- PROGRAMACION COMPLEJA DEL CONTROL DE COMUNICACIONES
- INFLEXIBILIDAD DEL CRECIMIENTO EQUIPO / PROGRAMACION

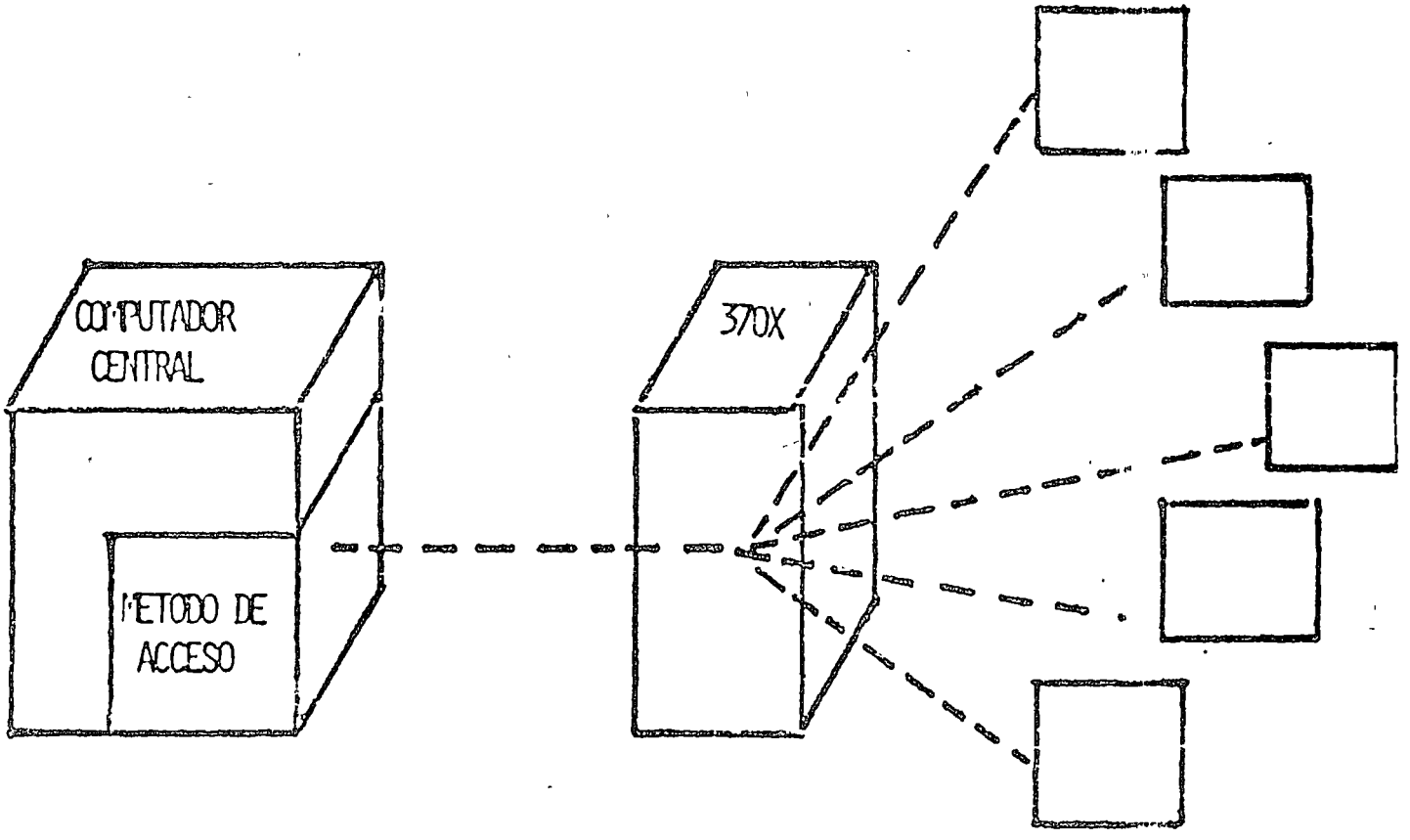
CRECIMIENTO PREVISTO

- UN INCREMENTO DEL 35% EN TERMINALES POR AÑO
- CERCA DE 10 VECES MAS TERMINALES EN 1980 QUE EN 1973
- UN NUMERO MUCHO MAYOR DE TERMINALES REMOTAS (70% - 80%) QUE LAS LOCALES

PERSPECTIVA DE LAS UNIDADES DE CONTROL DE TRANSMISION PREVIOS



PERSPECTIVA CON CONTROLADORES DE COMUNICACIONES PROGRAMABLES



B I B L I O G R A F I A

1.) Arnold - Hill - Nichols : "Sistema Moderno de Procesamiento de Datos" Edit. Limusa, México, D.F., 1975.

2.) Cárdenas Miguel A. : "La Ingeniería de Sistemas" Edit Limusa, México, D.F., 1974.

3.) Catalytic Construction Company : "Método del Camino Crítico", Edit. Diana, México, D.F., 1970

4.) Corzo Miguel A. : "Introducción a la Ingeniería de Proyectos" Edit. Limusa, México, D.F., 1975.

5.) Dippel - House : "Information Systems", Edit. Scott, Foresman and Company, Illinois, 1969.

6.) Eadie Donald : "Modern Data Processors and Systems". Edit. Prentice - Hall Inc., New Jersey, U.S.A., 1971.

7.) Gerez Victor - Grijalva Manuel : "El Enfoque de Sistema", Edit. Limusa, México, D.F., 1976.

8.) Loft Richard W. : "Basic Data Processing", Prentice - Hall, Inc., New Jersey, U.S.A., 1972.

9.) Martino R. L. : "Administración y Control de Proyectos", 1 tomos, Edit. Técnica, S.A., México, 1965.

10.) Mayoral, N.A., "Análisis de los Factores que Determinan la Necesidad de Utilizar un Centro de Informática en una Empresa", México, D.F., 1974.

11.) Mc. Millan - González : "Systems Analysis", Richard D. Irwin, Inc., Illinois, U.S.A., 1974.

12.) Miller Robert W. : "Aplicación del Método PERT al Control de Programación, Costos y Beneficio", Mc Graw - Hill Inc., N.Y. 1963.

13.) Mora - Molino : "Introducción a la Informática", Edit. Trillas, México, D.F., 1975.

14.) Ontiveros J.J. : "Control de Proyectos Utilizando el Sistema ICES - PROJECT", México, D.F., 1975.

15.) Presser, Cárdenas, Marín : "Ciencias de la Computación", Edit. Limusa, México, D.F., 1972.

16.) Shoderbek P.P. : "Management Systems", John Wiley and Sons, Inc., U.S.A., 1971.

17.) Sisson - Canning : "Información por Computadoras", Edit. Limusa, México, D.F., 1972.

18.) C.O.S.P.I. : "Control Sistematizado de Proyectos y sus Inversiones", CINC, S.A., México, D.F., 1972.

19.) SIDAO : "Sistema de Información Directiva de Administración de Obras", I.M.S.S., México, D.F., 1974.

20.) "Control de Costos de Obra en Cómputo Electrónico", Proyectos y Sistemas de Información, México, D.F., 1974.

21.) "Sistemas de Información en la Construcción" tesis profesional Ing. Arnulfo Castro Jiménez (1977).

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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

UNA METODOLOGIA DE MODELACION PARA PLANEACION MACROREGIONAL

DR.MIGUEL ANGEL CARDENAS GONZALEZ

JUNIO-SEPTIEMBRE,1977

NOTAS SOBRE EL ENFOQUE DE SISTEMAS

Dr. Miguel Angel Cárdenas.

Derechos reservados de autor; prohibida la reproducción sin - autorización.

INDICE

1. Introducción (Ref. 1, 2 y 3)

    1.1. Planeación Macroregional - ONU, países, porque le interesa al

    1.2. Conceptos de modelación para sistemas complejos

    1.3. Metodología de Sistemas - idea, no conceptual, modelación

2. Tecnología y Experiencias: El Club de Roma (Ref. 4, 5)

    2.1 Antecedentes

    2.2 Proyecto Mesarovic - Pestel.

    2.3 Algunos Resultados

3. Caso Ilustrativo: El Modelo Global y Regional del Recurso Agua (Ref. 6)

    3.1 Supuestos básicos y estructura

    3.2 Resultados para la región 2 - Latinoamericana

INTRODUCCION

Se ha preguntado en alguna ocasión si el enfoque de sistemas es solo producto de una época y si por lo tanto después de algunos años pasará a un segundo plano de interés profesional en cierta forma análogo al fenómeno de la "Cibernética". La Ingeniería de Sistemas, esto es, la aplicación del enfoque de sistemas a problemas reales, sin embargo, no es una nueva disciplina propiamente hablando; ni tampoco es una especialidad o rama de la ciencia que excluye o desplaza a otras herramientas o conceptos disciplinarios. La Ingeniería de Sistemas es solo un complemento al conocimiento profesionl que permite un mejor y más eficaz uso del mismo. La Ingeniería de Sistemas requiere bases disciplinarias sólidas en áreas tales como las matemáticas, ingeniería industrial, la administración, las ciencias sociales y otras; no trata de metodologías abstractas o conceptos amplios y poco profundos, sino de una lógica de análisis y además un enfoque que permite la conjución de los puntos de vista de diferentes disciplinas en la solución de problemas complejos principalmente. Y es por esto último que se hace más necesaria la aplicación de esta tecnología de sistemas en la actualidad, pués la escala y diversidad de actividades económicas, sociales y políticas como sabemos es cada vez más impresionante en este complejo mundo moderno en que vivimos.

¿Qué significa este enfoque de sistemas? Puesto que cualquier definición generalmente tiende a ser restrictiva es conveniente describir lo que

no es el enfoque de sistemas y lo que este implica en términos de sus características generales.

El enfoque de sistemas funciona no por actividades, sino por objetivos: Esto es, su orientación y metodología de aplicación tiende a diseñarse de - acuerdo al objetivo en cuestión limitado por las características del ambiente general (externo e interno) y por los recursos con que cuenta el sistema. Es falso decir que el enfoque de sistemas es simplemente una herramienta nueva de trabajo, tal como la computadora o los modelos matemáticos. Tanto un experto en computación electrónica como un sociologo experimentado, pueden o no utilizar la metodología de sistemas dependiendo de su orientación y las necesidades del caso.

Al hablar de objetivos no implica el uso de un programa rígido de actividades como característica básica de un proyecto, sino la aplicación de una metodología o estrategia general cuyas actividades específicas podrían ser bien diferentes de un caso a otro, de acuerdo a las necesidades del sistema, no obstante que el objetivo fuera el mismo. Es esta metodología la base - fundamental para poder aplicar en la práctica y con éxito el enfoque de sistemas. Así mismo el punto medular para el diseño y aplicación de esta metodología es el desarrollo de un marco conceptual del sistema, el cual en -- forma ordenada y lógica represente los aspectos esenciales de ese sistema que se va a crear o modificar.

La literatura en la actualidad habla escasamente y en forma demasiado

genérica de este tema de casos conceptuales, el cual representa quizá la clave para una aplicación exitosa de este enfoque.

Cuando se habla del tema de sistemas generalmente surgen proble - mas semánticos a causa de la falta de estandarización de terminología. Esto no debe sorprender a nadie ya que se trata de un tema hídrido, -- aplicable universalmente, que utiliza conceptos y técnicas tanto clási - cas como de reciente creación y aceptación.

Un enfoque es un punto de vista, estilo de observación o análisis de - una realidad dada. Por ejemplo, se habla del enfoque legal como una for- ma de ver los problemas socio-políticos de una comunidad el cual enfatiza la consideración y análisis de los reglamentos y leyes formales de la so - ciedad para la formulación de recomendaciones y soluciones. Así mismo, se podría hablar del enfoque "artístico", el "sociológico", etc., los que representarían igualmente puntos de vista o persepectivas claramente dis_ tintas. Sin embargo, sería difícil definir en términos exactos o cuantita- tivos todos los atributos y facetas de estos enfoques pués no existe un re - glamento o "definición" que los describa exhaustivamente; solo se podrían presentar indicaciones cualitativas y lineamientos generales. Este es el caso también del enfoque de sistemas.

Podemos decir que en la actualidad el enfoque de sistemas debe ser - "espina dorsal" o estructura de análisis fundamental para profesionistas egresados de programas de estudios interdisciplinarios, tales como la --

ingeniería industrial, informática, planeación, administración y otros.

Partiendo de este enfoque como base, debemos pasar entonces a la - consideración de que técnicas o herramientas están disponibles para la - identificación, re-diseño y modificación de un sistema (como sería el caso de una empresa ya en operación), o para su planeación y desarrollo, si es que el sistema no existiera todavía (como en el caso de un edificio - que se desea construir).

¿Qué técnicas son las que se deberán aplicar ?. Se puede afirmar - que deberán considerarse el mayor número de técnicas disciplinarias clásicas relevantes al problema, así como toda la gama de técnicas nuevas - que incluyen la investigación de operaciones, la ciencia de computación, etc. Pero el decidir cuales de estas y en que orden se deben utilizar no es un proceso fácil de determinar en la práctica sino se ha definido la metodología de trabajo y con base en el marco conceptual del sistema en cuestión.

El producto de la aplicación del enfoque de sistemas no es necesariamente una solución mágica. Como en el caso de otros puntos de vista o - estrategías, todo depende de la efectividad de su uso y del tipo de aplicación. Si el problema es tal que el enfoque clásico disciplinario (de un ingeniero, administrador, etc.) lo identifica y soluciona rapidamente, lo más probable es que el enfoque del sistema en este caso pudiera ser más costoso pues seguramente con un mayor y exhaustivo esfuerzo de análisis solo se llegaría al mismo resultado. Sin embargo, es miope pensar que solucionando

los problemas reales a nuestro alrededor cuando estos surgen es la mejor estrategia siempre. Generalmente es más conveniente evitar una enfermedad y no esperar a tener que curarla (aunque se tuviera una buena medicina). El enfoque de sistemas, a través de su perspectiva global, tiende precisamente a evitar problemas pues permite un mayor y más permanente conocimiento de la estructura y funcionamiento del sistema de interés, sea este un edificio, una máquina o una institución. Cuando se habla de una institución, por ejemplo, el enfoque de sistemas no requiere la elaboración de un estudio o implantación de un cambio específico dentro de la misma, sino requiere de la revisión constante y la adaptación continua de la institución que permitan minimizar conjuntamente los problemas administrativos, técnicos, humanos, etc., para lo cual forma un grupo interdisciplinario permanente dentro de la organización.

Seguido se dice que "dos cabezas piensan mejor que una" y se podría confundir esta idea con el concepto de trabajo interdisciplinario de grupo requerido por el enfoque de sistemas. Este último requiere de una metodología para ser realmente efectivo; y es aquí donde podría ser falso el dicho popular, pues cuantas veces también nos damos cuenta que "es mejor hacer las cosas solos que con grupos sin organización, coherencia o metodología de trabajo".

La metodología de la ingeniería de sistemas es entonces, la base fundamental para lograr resultados; y consiste de todas aquellas herramientas que permiten la conjución de diferentes puntos de vista disciplinarios

dentro de un marco "de sistemas". Este marco conceptual de acción es uno de los temas que tocaremos posteriormente en esta plática.

Las herramientas de la metodología de sistemas no necesariamente son altamente sofisticadas (modelos matemáticos, computadoras, etc.), ni tampoco se pueden clasificar dentro de alguna disciplina o con características comunes. Sólo se puede afirmar que las técnicas de sistemas -- son aquellas que utilizan el marco de acción anterior.

Por otro lado, el enfoque de sistemas provee también una capacitación única del profesionista disciplinario, pues le da criterios para poder entender mejor otros puntos de vista, además de agregarle a su cartera de herramientas una serie de técnicas nuevas tales como los conceptos - de descomposición, agregación, simulación y otros. Este beneficio educativo es una de las razones del porqué los programas académicos interdisciplinarios y de sistemas han proliferado dentro de los curricula universitarios en la actualidad. Se puede decir que esto es particularmente de importancia en países en desarrollo, donde el resultado de formar profesionistas no adaptados a la realidad empresarial y gubernamental nacional a causa de una "sobre-educación" , o educación demasiado especializada, es ya insoportable social y económicamente. Nuevos programas de estudio tales como los de informática, ciencias administrativas e industriales, etc., en nuestros países latinoamericanos empiezan ya a aprovechar en forma organizada las ventajas del enfoque de sistemas.

Actualmente es bien conocido el cuerpo de técnicas cuantitativas -- frecuentemente llamado "investigación de operaciones" e inclusive un - creciente número de grupos de trabajo se han ya instalado dentro de una gran variedad de empresas y dependencias gubernamentales, los cuales han venido a dar cabida a una porción significativa de los recursos humanos con educación avanzada en ciertas técnicas de sistemas. Sin embargo, en sólo muy raras ocasiones estos grupos han vencido la "barrera" - del ejecutivo y han realmente servido como su apoyo en la toma de decisiones o en el desarrollo integral de la empresa o institución y no solo como un grupo de estudios específicos para automatizar, desarrollar modelos matemáticos, etc.

¿Es esto resultado de la falta de educación del ejecutivo de hoy en - día ?. Aunque seguido este es el caso, se puede afirmar que gran parte del problema es la ausencia de un marco de acción o metodología integral que permita ubicar el uso de estas técnicas dentro de la realidad y prioridades de la organización. Despúes de todo, solo en muy raras ocasiones se da la coincidencia dentro de una empresa en que todo esté listo para aplicar directamente un modelo matemático de programación lineal (por - ejemplo; para la asignación de recursos financieros) y en esas raras ocasiones, se deberá antes que nada evaluar la prioridad que la aplicación de esta técnica tuviera dentro del conjunto de necesidades diversas de la empresa, esto es, quizá existe un problema humano simplemente, de más importancia en otro departamento dentro de la misma y cuya solución es de extre

ma urgencia. En la medida en que se tengan ubicados los diferentes - componentes de la organización (esto es, el sistema, sus interacciones y prioridades) para que la solución de problemas específicos no solo -- sean parches con posibles efectos negativos a mediano y largo plazo, en esa medida se aplicará el espíritu verdadero del enfoque de sistemas y se obtendrán los resultados inmediatos de este poderoso punto de vista interdisciplinario.

Por otro lado es fácil limitar nuestra visión de la realidad que nos rodea a un lente o filtro disciplinario. De hecho, tradicionalmente la educación superior habra venido promoviendo la formación de mentalidades ingenieriles, administrativas,etc. Nadie puede negar que un licenciado en derecho generalmente ve un mundo económico, social y político diferente al que ve un doctor en medicina, un psicólogo, etc.

Lo anterior significa que nos hemos visto rodeados en años pasados por una fuerza de trabajo profesional de tipo multi-disciplinario, esto es, de una cartera de individuos y grupos expertos en diferentes temas y actividades. Es así como se han desarrollado grandes empresas, se han resuelto graves problemas económicos y sociales, y es así como gran -- parte del mundo desarrollado actualsigue creciendo. Sin embargo, las - recientes crisis regionales, tales como las de energéticos, población y alimentos, nos hacen aceptar que nuestros recursos no son ilimitados y qué inclusive las sociedades más ricas del mundo moderno no solo deben fijarse la meta de crecer en el sentido económico, sino de hacer el uso -

más efectivo del mínimo de recursos posibles.

A nivel de competencia comercial y profesional se hace cada día más imprescindible la conjución de puntos d e vista disciplinarios, lo cual debe lograr no la suma directa de diferentes puntos de vista, sino algo más: una nueva visión integral de conjuntos que permite realmente obtener más beneficios de los que se esperaría si diferentes especialistas llevarán a cabo sus tareas en forma independiente y al final se unieran para presentar los resultados simultáneamente. "El traslape" de enfoques disciplinarios que se requiere para ello es lo que aquí llamaremos el cáracter inter-disciplinario y (no múltiple disciplinario) del enfoque de sistemas.

Se puede decir que casi cualquier individuo con libertad de pensamiento es un ejecutivo o tomador de decisiones. Obvio es que si se trata no de un individuo, sino de una empresa que consiste de una serie de recursos económicos, físicos, humanos, etc., la toma de decisiones requiere de un mayor número de consideraciones más complejas. En este caso se pudiera decir que el ejecutivo es el gerente o director, representado un individuo y los factores inherentes a su personalidad. Pero la realidad no es esta. El gerente de hoy en día requiere de gran precisión en cuanto al tipo de información que recibe, necesita también de un ambiente ecológico propio para su labor de tomador de decisiones, etc.; y es todo esto en conjunto de elementos lo que se debe definir como "el ejecutivo". Nótese la necesidad de aplicar una mentalidad o punto de vista interdisciplinario, pues su problema no es la instalación del sistema contable, la definición de su organización, el diseño de su -

línea de producción, el control de su personal o cualquier otro proble - ma específico; sino el uso óptimo de todos los recursos a su alcance para la maximización de utilidades. Esto último implica el control efectivo de una gran variedad de factores de tipo disciplinario.

Por lo anterior, se dice que el enfoque de sistemas no es un producto tecnológico de reciente creación pues cuántos ejecutivos empresarios y del sector público de gran éxito han existido en el pasado. Lo que sí - es cierto es que la gran mayoría de estos "genios" han sido intuitivos y sus métodos de razonamiento en gran parte cualitativos y difíciles de sistematizar. Es por esto que el enfoque de sistemas de estas personas -- "excepcionales" no se podría enseñar en un salón de clases o en un laboratorio técnico, y por lo tanto no hubo posiblidad durante muchos años de poder divulgar las características de este enfoque y las estrategías para su implementación. Pero la necesidad es la fuerza motríz de logro más poderosa que existe, y fue esta una vez más la que propició el desarrollo de técnicas sistemáticas, pues ha sido principalmente la escala y complejidad de los problemas y las organizaciones de hoy en día el principal factor para el fomento de la interdisciplina y la aplicación del enfoque de sistemas.

El enfoque de sistemas representa beneficios concretos para el tomador de decisiones pues le permite evaluar y jerarquizar problemas con criterios cuantitativos y bajo bases comunes. Se puede decir que este enfoque, lejos de ser comparable con uno disciplinario en plan de substitución de es-

te, solo tiende a estructurar el uso de una serie de técnicas y heramientas clásicas y algunas nuevas con el propósito de ayudar al que toma las decisiones (sea un individuo o un ejecutivo de una empresa) para satisfacer sus objetivos más "eficientemente", y no solo necesariamente en el sentido económico, como seguido se mal interpreta.

Es imperativo estandarizar el concepto representado por el enfoque de sistemas, pues es todavía triste ver como un gran número de profesionistas se mantienen al margen de este enfoque porque creen que al hablar de sistemas se implica directamente el uso sin misericordia de la computadora o de técnicas matemáticas teóricas. Esto ayudaría a un mejor entendimiento y aplicación de los beneficios reales de este concepto, así como evitaría la distorsión o subestimación de las ventajas y beneficios de los enfoques y métodos clásicos ya comprobados en diferentes disciplinas y seguido atacados por principiantes fanáticos del enfoque de sistemas. Esta labor de estandarización requiere la divulgación de los aspectos claves de este enfoque (la interdisciplina, la insistencia en criterios cuantitativos, la perspectiva integral de los componentes del sistema y sus interacciones, etc.) en los principales centros académicos y áreas profesionales de hoy en día. Sorprendentemente esto se ha logrado con mucho entusiasmo durante los últimos cinco años en varios países en desarrollo (tales como México, Venezuela, Brasil y Chile), con el liderazgo de sociedades -- profesionales tales como las de ciencias de computación, ciencias administrativas, ingeniería industrial y otras.

Por otro lado, existe el peligro de que una mentalidad interdisciplinaria sin intereses específicos o preferencias de tema, tienda hacia lo que clásicamente se llamaría la " superficialidad " de conocimientos; - lo que se criticaría severamente con el ya conocido refrán de que " el que mucho abarca, poco aprieta ". Sin embargo, el enfoque de sistemas no implica una visión superficial de las cosas, ni tampoco avoca el trabajo individual en la aplicación de la metodología de sistemas, sino la visión de un grupo de especialistas en varios temas, trabajando - en conjunto. Esto último asegura no caer en el problema antes mencionado, pues se tiene con los especialistas involucrados la capacidad de detallar o profundizar en cualquier momento de acuerdo a la jerarquización de áreas-problema y la asignación de prioridades establecidas a - través de la perspectiva global del grupo.

Lo anterior significa que la ingeniería de sistemas y su enfoque no se pueden definir como una profesión que abarca necesariamente los conocimientos de varias disciplinas tales como administración, economía, computación, ingeniería, leyes, etc., más bien el uso de esos conocimientos es consecuencia natural de la aplicación del enfoque de sistemas y el trabajo interdisciplinario que requiere. El cuerpo de estrategías que define esta tecnología llamada ingeniería de sistemas viene siendo no solo contribución de las disciplinas clásicas, sino de las nuevas herramientas y metodologías tales como los modelos matemáticos, la computación el - propio concepto de la interdisciplina.

En la actualidad la gran mayoría de los profesionales involucrados con el ramo de sistemas son llamados " analistas " , pués después de estudiar y analizar el problema proceden a la utilización de alguna técnica " de sis_ temas " para su solución. Es así como surge la confusión entre el análisis sistemático o científico de un " tal analista de sistemas " y la aplicación - práctica del enfoque de sistemas. El primero puede ser de tipo disciplina_ rio, más no el segundo. El método científico en general no es sinónimo a la aplicación del enfoque de sistemas.

¿Cómo se diseñan las etapas involucradas en este último proceso y -- con qué recursos ?. Creo que ya es tiempo hablar un poco de estas etapas " desconocidas " esto es, las estrategías para la implementación práctica del enfoque de sistemas. Tomaremos el ejemplo de la planeación y - desarrollo de una empresa o institución.

El requisito fundamental para iniciar en todo caso es la formación de un grupo inter-disciplinario de trabajo. Si la empresa en cuestión existe ya, parte del personal deberá provenir de la misma. Si se pretende crear la empresa, es conveniente que parte del grupo se seleccione para que -- eventualmente este permanezca dentro de la empresa ya en su etapa de - operación normal.

Habiendo cumplido con lo anterior, la primera etapa involucra la definición del ambiente alrededor del cual el sistema se desarrollará. Esta no es una labor trivial, pues requiere de la identificación de una serie de

factores cualitativos por medio de criterios no necesariamente bien definidos; por ejemplo , se hablaría aquí de factores " positivos y negativos ", " variables " , " controlables " y " no controlables " parámetros " importantes " y no " importantes ", etc. ; todos estos factores se relacionan con el objetivo del sistema, aunque este no está bien definido todavía.

Esta primera etapa presenta la perspectiva o marco de referencia externa del sistema. Con esto se establecen las bases para definir las fronteras. alcances u objetivos del mismo, o sea la segunda etapa.

Los objetivos del sistema deben ahora ubicarse en forma realista y concreto dentro del marco conceptual externo identificado. No se trata de establecer objetivos a través de fórmulas matemáticas, sino de describir sus características en términos de los factores del ambiente ya identificados.

Enseguida se procede a la tercera etapa; la definición de los recursos del sistema. Los recursos del sistema pueden clasificarse de diversas formas, dependiendo del objetivo; pero de cualquier manera, ellos establecen las restricciones básicas del sistema.

La cuarta etapa es la integración conceptual de los tres elementos -- anteriores : ambiente, objetivos y recursos. Esto implica la formulación del panorama de información básica que se requiere para proceder ya a la etapa de modelación , esto es , la representación conceptual de esos ele-

mentos.

Un marco conceptual para ser práctico y válido debe integrar en -- forma lógica y exhaustiva todos los aspectos del sistema de interés al grupo inter-disciplinario. En el caso del desarrollo de una empresa - por ejemplo , se pudiera definir un marco con los siguientes cuatro -- conceptos ; estructura organizacional, flujo de información, procedimientos y ambiente de decisión. Cada uno de estos conceptos se deberán desglozar en términos de parámetros o indicadores específicos , para que a partir de ahí el grupo interdisciplinario proceda a la investigación o - capatación de información.

El concepto de estructura organizacional se refiere al " esqueleto " o estructura orgánica de la empresa , por lo cual incluiría parámetros tales como líneas de autoridad, jerarquias, objetivos , funciones y políticas, etc. Si se hablara del cuerpo humano , este concepto se podría definir en términos del esqueleto o estructura ósea y el cual sirve para definir el radio de acción física del sistema humano.

La dinámica implicita en una empresa, por otro lado, se pudiera - representar en términos de los dos conceptos adicionales ya mencionados : flujos de información y procedimientos. Esa dinámica, seguido llamada funcionamiento (o comportamientos en el caso de sistemas sociales) , debe de estar sujeta a la restricciones impuestas por la estructura del sistema. En la analogía con el cuerpo humano , los flujos de -

información serían el flujo sanguíneo y los procedimientos (o actividades enlazadas) serían ya las acciones o movimientos de sus extremidades.

El cuarto concepto, el ambiente de decisión se refiere a todos aquellos factores humanos, físicos y económicos que condicionan la toma de decisiones.

Con base en el marco conceptual anterior, ustedes deberán poder desarrollar para cualquier sistema organizacional la definición de los conceptos ya descritos.

Como otra ilustración, hablaremos ahora del problema de planeación y desarrollo regional. En este caso un marco conceptual válido se podría definir de la siguiente manera : en jerarquía vertical pudieramos hablar de componentes o estratos geofísico, ecológico , tecnológico, económico , institucional , socio-político y finalmente individual-humano. Con este marco el grupo inter-disciplinario procedería a la definición de cada uno de tales componentes también en términos de parámetros o indicadores específicos para después proceder igualmente a la investigación o captación de información del sistema regional.

Se pudiera dar diversos otros ejemplos de marcos conceptuales ; al interesado lo refiero a mi publicación titulada El Enfoque de Sistemas : Técnicas para su Implementación, Editorial Limusa, 1977.

Habiendo logrado la representación conceptual del sistema, el siguiente paso es el desarrollo del mismo, para lo cual se requiere una metodología.

¿ Cómo se fórmula en la práctica ? . Existen dos aspectos básicos para lograrlo : la programación de Sub-objetivos y la implementación de actividades. La labor de definir y programar objetivos no es trivial pero sí es básica para asegurar el éxito de una metodología. Existe un gran volumen de literatura que describe diferentes estrategias de programación por objetivos por lo que no se produndizará aquí en este tema. Cuando el sistema no existe, hay que crearlo; cuando existe hay que modificarlo. Pero la metodología de desarrollo del sistema necesariamente debe tener el mismo objetivo en ambos casos : lograr el mejor sistema posible de acuerdo a cierto criterio. Es importante hacer notar esto para ilustrar el hecho que la metodología de sistemas es equivalente a una estrategia de acción continua aplicable a cualquier sistema independiente de la etapa de evolución en que se encuentre . Esta es quizá la característica básica que diferencia al proceso de aplicación del enfoque de sistemas del procedimiento de aplicación de otros enfoques.

Las bases fundamentales de esta metodología de sistemas necesariamente incluyen la identificación a través del marco conceptual del sistema actual, la identificación de los requerimientos del nuevo sistema, y luego el diseño, implementación y revisión permanente del mismo. No entraremos tampoco en detalle y su descripción y discusión en esta plá-

tica; solo me concretaré a comentar que es aquí donde pueden entrar en acción las herramientas y técnicas sofisticadas de tipo cuantitativo o - heurístico, cuyas aplicaciones y alcances representa actualmente el tema básico de la gran mayoría de publicaciones de " sistemas ". La queja del empresario o del joven profesionista, quienes aseguran que practicamente ninguna de las técnicas sofisticadas de investigación de operaciones son útiles en la realidad es reflejo de la desorientación que estas publicaciones han generado.

Hablando un poco de las aplicaciones actuales del enfoque de sistemas, podemos mencionar que aparte del gran número de grupos que están ya trabajando con esta orientación dentro del sector público mexicano, los despachos de consultoría en latinoamerica son los que más han practicado esta nueva corriente tecnológica. En general, los ejecutivos ya no están satisfechos con la idea de tener contratados a tres o más despachos externos especialistas en la solución de los diversos tipos de problemas que asechan su empresa (contable, fiscal, legal, administrativo, ingenieril, etc.) , sino que prifieren despacho inter-disciplinario cuyas recomendaciones no se contrapongan con los otros consultores contratados,como ocurre a menudo en el primer caso.

Los despachos de consultoría organizacional y de alta empresa están surgiendo ahora con aplicaciones muy interesantes utilizando los conceptos de sistemas ya mencionados.

Pero también nos encontramos con un impresionante número de consultorías erróneamente denomidadas " de sistemas " , que han surgido desde el advenimiento de la computación electrónica y el desarrollo de las técnicas matemáticas de simulación y optimización, y cuya labor tiende a ser igualmente peligrosa a mediano y largo plazo para el ejecutivo a causa de la ausencia de una perspectiva integral. ¿ Cuántas veces se ha visto que en una empresa y a corto plazo se requiera cambiar varias veces un mismo sistema de procedimiento de datos por no haberse considerado aspectos tales como posibles cambios tecnológicos u organizacionales, actitud de personas, etc.? .

En muchos casos pues se ha tratado del uso meramente comercial del término " sistemas " y no el de un trabajo profesional que utilice realmente el enfoque de sistemas.

Entre las empresas de gran tamaño por un lado, las cuales tienden a crear en general sus propios grupos internos de planeación y consultoría, y por otro lado, las actividades empresariales de pequeñas operaciones comerciales e industriales, se encuentra un gran número de empresas con muchas necesidades de apoyo profesional externo del tipo de sistemas. El mercado en particular de latinoamerica tiende a ser aún más amplio por la cantidad de empresas familiares, cuya dirección ha sido pasada típicamente de padre a hijo a raíz de actitudes tradicionalistas de centralización de funciones y control Agrandes pasos se está logrando la transición de muchas de ellas hacia empresas con organizaciones sanas y nuevas tecno-

logías; y un gran número lo están alcanzando con ayuda de firmas consultoras. Aquí existe un gran reto para la aplicación del enfoque de sistemas, pues en muchos de estos casos los beneficios no se miden en términos de aumentos " en eficiencia " del orden del 5 ó 10 % , sino muchas veces mayores, del orden del 30 % o más .

Por otro lado, las aplicaciones en el ramo de la planeación regional (incluyendo planeación urbana, desarrollo rural, planeación integral, desarrollo de infra-estructura, etc.,) cada día utilizan más y más el enfoque de sistemas ya sea por los lineamientos dictados por las instituciones financieras internacionales y nacionales, o por simple necesidad. La complejidad de estas aplicaciones ilustra cada vez más las ventajas del enfoque en este tipo de problemas.

Me gustaría ahora hablar un poco de un tema de particular interés para nosotros que hacemos uso del enfoque de sistemas en el sector público; el cambio institucional , y la contribución de este enfoque en esa tarea.

En los últimos años hemos visto una " explosión demográfica " de grupos staff dentro de organizaciones pequeñas, medianas y grandes , tanto en el sector público como en el privado , en los países en vías de desarrollo. Su función básica es la de dar apoyo al ejecutivo moderno o funcionario público con sus múltiples presiones y estilos de mando. Mucho se ha escrito sobre el papel que deben jugar estos grupos " staff " o de consultoría (interna o externa a la institución) , especialmente en relación a la necesidad

de que estos contribuyan realmente al desarrollo armónico de la institución, o sea al cambio institucional continuo ; pero poco se dice sobre - el cómo estos grupos deben o pueden realmente desempeñar su labor de una manera efectiva.

El cambio institucional a través de la intervención de un grupo -- staff, es de interés directo para nosotros, pues la metodología de sis - temas requiere de este tipo de mecanismo organizacional para la planea_ ción y desarrollo de cualquier institución, esté ya formado (en cuyo caso la labor es de modificarla) o no (en cuyo caso habría que crearla). Ahora bien, el costo de la integración y funcionamiento de cualquier grupo staff, tendrá que ser evaluado contra el beneficio real de su intervensión. Sin embargo, se debe hacer notar que generalmente el éxito del grupo staff o " agente de cambio " como se le denomina dentro de la metodología de sistemas, proviene de una labor indirecta en cierta forma pasiva ; pues el sujeto de la acción propia de cambio institucional debe - ser siempre el ejecutivo mismo, integrante de la estructura forma de - la organización. Esto implica que el grupo staff debe siempre buscar - la estrategia adecuada para " inducir " el cambio solamente, no para - implementarlo directamente.

Por lo tanto, la metodología de sistemas no solo intenta sugerir -- cambios para el ejecutivo los tome o los deje, sino que los promueve de tal manera que los miembros de la estructura formal de organiza - ción sean los responsables directos y lo sientan así.

En nuestra experiencia como consultores de sistemas vemos una - y otra vez cómo nuestra metodología logra la situación discreta arriba de una forma tan efectiva que inclusive los ejecutivos involucrados en el cambio seguido nos solicitan un escrito formal en donde se especifique " aunque no parezca, el cambio fue causado por el consultor " .

Lograr una situación como esta significa el éxito del enfoque de - sistemas en la consultoría organizacional.

Todo cambio institucional debe tener un objetivo, bien definido, - sobre todo cuando el intervalo de tiempo que se tiene para lograrlo es corto. Se puede decir que la dinámica misma (o " funcionamiento ") de toda institución significa cambio y esto definitivamente que requiere de dirección y control. Sin embargo, al referirnos aquí al concepto de cambio constitucional, nos estamos refiriendo a la situación en que se requieren notificaciones drásticas en el menor tiempo posible, viendo esto último como la meta de la estrategia de cambio que se deberá diseñar. Bajo otras circunstancias, se pudiera decir que había que diseñar una estrategia de acción que acelere al máximo el proceso de identificación de problemas en la institución, pues éste sería la base para las recomendaciones de cambio. Pero una vez más, ésto no es suficiente ; pues lo que el ejecutivo necesita, no es solo escuchar recomendaciones, sino ver cambios de tipo permanente.

Cuando el personal de una institución tiene las bases para compro-

meter asesor staff como responsable del cambio, el incentivo para establecer un proceso continuo de renovación y desarrollo institucional queda fuera del alcance de este, pues el personal operativo de la institución no se ve forzado a " actuar " por no sentirse responsable del cambio. La metodología de sistemas requiere que el grupo staff de trabajo entregue al personal de la institución un mínimo de reportes escritos con recomendaciones y conclusiones de tipo evaluatorio, para precisamente reducir el riesgo de lo anterior. Es de especial interés comentar aquí que en todos los casos, el cambio institucional sigue muy de cerca las etapas de todo proceso biológico: primero existe un rechazo al cambio, luego viene la apatía al mismo, después la discusión o debate y finalmente la adaptación o aceptación del cambio. Dependiendo de las características y problemas de cada institución, una u otra de estas fases tiende a sobresalir en cuanto a las dificultades que presenta, por lo que labor del agente de cambio diseñar el detalle de la metodología de sistemas para poder proveer y resolver de la manera más efectiva posible estos retos.

Se habló ya sobre la conceptualización o representación de una organización en términos de su estructura , flujos de información , procedimientos y ambiente de decisión. Tomando estos como base, cualquier -- proceso de cambio institucional implica modificaciones, aunque de menor o mayor grado a cada uno de estos conceptos, pues todos están intimamente interralacionados. Sin embargo, se debe prestar especial consideración a los factores humanos ligados con el concepto de ambiente de decisión, --

pues son estos los que pueden en un momento dado darle la permanencia al proceso de cambio. En la actualidad observamos como muchas de las consultorías de " alta empresa " y organizacionales que utilizan estrategias disciplinarias clásicas ven sus esfuerzos culminados con cambios de los cuales solo algunos miembros de la institución se sienten partícipes. El rechazo y la apatía surgen a corto plazo, después de la inter - vención del consultor, inclusive entre el personal que se involucró en el cambio inicialmente. Estos síntomas corresponden de nuevo a las dos primeras fases del proceso biológico antes mencionado, lo que significa un retroceso permanente para la institución. Estas reflexiones podrían indicar, por lo tanto, que una estrategia de cambio institucional mal planeada puede en un momento dado generar un daño permanente en la institución, lo que indica la importancia de este concepto para la metodología de sistemas. Además las decisiones que se toman en el sector público tienden a ser de mayor trascendencia social que las del sector privado, precisamente por la labor que el gobierno tiene de representar y protejer el domino " público " . Las necesidades de cambio así mismo, tienden a ser más frecuentes y de mayor complejidad por la escala y diversidad de objetivos que se requieren cumplir. Aunque es debatible cual es el verdadero objetivo de una empresa privada, maxinizar ganancias netas, o simplemente sobrevivir, generalmente estas dos posiblidades se circunscriben al beneficio de un grupo reducido de personas, los accionistas y/o el personal de la empresa. Sin embargo, en el cado del sector público se requiere, además de estos dos objetivos, maximizar el bie-

nestar social, incrementar el nivel económico, mejorar el ambiente - ecológico y otros igualmente y todo esto con un alcance nacional o regional. Esto indica la necesidad de analizar el concepto de objetivos con gran seriedad antes de emprender cualquier esfuerzo de cambio institucional en un organismo público.

Con lo anterior, se puede decir que cualquier cambio dentro de una institución pública afecta a miembros externos de la misma y por lo - tanto se les deberá incluir también a ellos en el cambio. Pongamos el ejemplo de una Secretaría o ministerio encargado de la planeación y desarrollo de los Recursos Hidráulicos de un país. Para lograr cualquier cambio permanente en tal dependencia se deberá pensar en la involucración de los usuarios de las obras hidráulicas, las cuales representan -- el " producto básico " de esa empresa. Si se tratara de un cambio en las políticas de precios y cobros por uso de agua agrícola dentro de un distrito de riego, los campesinos deberán sentirse responsables del cambio con bases en consideraciones de beneficio generado por este - hacia ellos. En un caso drástico, esto pudiera indicar un cambio en la organización tando del distrito de riego como de la dependencia mencionada.

Se ve de esta manera como la labor de cambio institucional en el sector público pudiera requerir de altos costos y graves problemas sociales en casos en que la estrategia de cambio sea inadecuada. Esta es una de las razones del porqué la metodología de sistemas ha venido co-

brando gran popularidad en los medios gubernamentales, especialmente de los países en vías de desarrollo donde cualquier mejora institucional, por pequeña que pareciera, tiende a generar grandes ahorros de costos y motivación social. La necesidad de la interdisciplina, como otra característica base del enfoque de sistemas, se ve también obvia ante la magnitud de los problemas y la responsabilidad que los gobiernos de estos países tienen actualmente en su lucha por una mejor distribución de las riquezas.

Por otro lado el cambio tecnológico en estos países implica necesariamente un cambio institucional forzado. Tan solo enfocándonos al concepto de mecanización y el uso de los modernos sistemas de cómputo para el manejo de los grandes volúmenes de información que las instituciones públicas requieran, podemos ver grandes contradicciones de planeación e implementación. Por un lado se mecanizan ciertas actividades internas de un procedimiento y por otro, se dejan ciertas transferencias de información entre grupos de trabajo a nivel manual, las cuales más que compensan cualquier velocidad y ahorro de costos generados por lo primero. Esto no es más que un ejemplo de una visión parcial y miope al cambio institucional que esta nueva tecnología requiere.

Con todo lo anterior podemos decir que la labor del ingeniero de sistemas tiende a ser pasiva en cuanto a la implementación de sus recomendaciones, dejando aparentemente la labor activa al propio sistema que sufre el cambio. La metodología de sistemas debe ser nada más que una estra-

tegia para lograr lo anterior de una forma efectiva y económica,

En relación al cambio continuo que implica el funcionamiento y de - sarrollo de cualquier organismo público, podemos decir que generalmen_ te no preocupa su dirección cuando se logran sus metas a corto plazo, no obstante que tiende a ser más fácil un control con una planeación adecuada del cambio. Esto pudiera requerir sensibilización y capacitación de personal a todos los niveles, revisión periódica de procedimientos y estructura organizacional y una gran variedad de otras estrategias orientadas a prevenir o evitar problemas en la institución.

Desgraciadamente existe todavía un muchos medios ejecutivos la ten_ dencia al logro a corto plazo y la tradicción de actuar con medidas estratégicas solo hasta después de ver claramente el síntoma o la realida de un problema, y no la táctica de evitarlos.

La metodología de sistemas es precisamente un esfuerzo exhaustivo de análisis , evaluación e implementación de cambio con la mira hacia el objetivo de evitar problemas, por lo que se puede decir que su mayor efec_ tividad no es en el solo hecho de mejorar ciertas situaciones ya existentes, sino en el evitar desenlaces negativos no controlados dentro de la institución ; y es esta última la naturaleza de la mayoría de los problemas que se presentan dentro del medio gubernamental. El funcionario público podrá conjugar los intereses de su institución con los objetivos sociales que co - rresponden al sector público en general contribuyendo con la aplicación --

de técnicas de sistemas a un cambio de actitud y de organización en general.

En el mundo profesional actual se ve más y más que la educación -- " superior " , esto es , de nivel universitario profesional, graduado y - post-graduado , es de necesidad básica para introducir las innovaciones que se requieren para sobrevivir la intensa competencia que cada vez -- se acentúa en una gran variedad de actividades económicas. Igualmente se hace más obvio que los programas de estudio profesional disciplina - rio sin un complemento de otros enfoques a nivel graduado o sin tener - una oportunidad de trabajo práctico que completamente esa disciplina, - tienen cada vez menos cabida en el mundo actual de los negocios o del servicio público gubernamental. La razón principal es la tendencia -- profesional al trabajo en grupo y a la toma de decisiones apoyada por - grupos " staff " de tipo interdisciplinario , esto causado en parte por - los grandes éxitos de este tipo de estrategia ya obtenidos en muchos - ámbitos económicos y sociales.

Es bien conocido, por ejemplo, el caso del administrador del edi - ficio que comenzó a recibir quejas por los usuarios de los elevadores. De inmediato, el administrador contrató a un despacho de ingenieros - para que estudiaran el caso, quienes después de hacerlo, recomenda - ron tres posibles alternativas de solución : aumentar el número de ele_ vadores, reemplazar los elevadores por otros más rápidos o asignar los elevadores para el servicio de ciertos pisos en particular. Esta

última opción resultó inadecuada, mientras que las primeras dos eran demasiado costosas. El administrador convocó a una junta a su " staff ", en donde se incluía a un psicólogo que fungía como director de personal. A este último le pareció un poco extraño el hecho que la gente se molestaba no obstante que las líneas de espera para los elevadores no eran muy grandes ; y recomendó otro tipo de solución. Puesto que esta no era muy costosa, el administrador permitió probarla, y de inmediato quedó resuelto el problema. La solución implicaba la simple instalación de espejos en las paredes del congestionado vestíbulo cerca de los elevadores para distraer a los usuarios.

Lo anterior ilustra el porqué del éxito obtenido recientemente en muchos grupos de trabajo interdisciplinario, en contraste con la actitud clásica de que ciertos tipos de problemas deben ser para cierto tipo de disciplinas. Esto implica una grave responsabilidad para el mundo académico, cuya estructura organizacional tradicionamente ha estado dividida por áreas disciplinarias con barreras de actitud y política difíciles de vencer. Sin embargo, se han hecho grandes esfuerzos en muchos centros de estudios para lograr vencerlas.

La experiencia del Case Institute of Technology (Cleveland, Ohio) es digna de consideración.

En esa Institución el primer paso para lograr la interdisciplina a nivel profesional y graduado fue la de proveer una estructura organizacio -

nal adecuada, creando en 1960 el Systems Research Center (Centro - de Investigación de Sistemas) como un organismo coordinador de los - diferentes grupos de trabajo disciplinario y de algunos más amplios en enfoque como el de Investigación de Operaciones, Sistemas de Control y Ciencias de la Computación. El segundo paso fue la creación y utili_ zación de un solo marco conceptual de sistemas en todos los proyectos de Investigación del Centro, así como una metodología de trabajo adecua_ da a este. Esto se logró con la " Teoría General de Sistemas Jerárqui - cos " propuesta por el actual Director del Centro, Mihajlo Mesarovic , y sus colaboradores. Se ha llevado a cabo un impresionante número de estudios y trabajos interdisciplinarios de problemas complejos hasta la fecha, y en todos el elemento unificador ha sido ese marco conceptual.

Es necesario que los nuevos currícula y programas de investigación a nivel superior contemplen no sólo el " acercamiento " físico u organi- zacional de los representantes de las diferentes disciplinas, sino tam- bién la implementación práctica de marcos conceptuales que permitan la unificación efectiva de las disciplinas ; formandode esta manera jove_ nes profesionistas que realmente puedan dirigir o participar en grupos - de trabajo que utilicen el contexto de sistemas.

Se ha explicado cómo la ingeniería de sistemas representa el pro- ceso de implementación del enfoque de sistemas, y que este requiere de la interdisciplina. No es difícil pensar que en un futuro cercano la influencia de este enfoque logre la restructuración drástica de una gran

cantidad de currícula a nivel licenciatura. Esto se ve ya en E.E.U.U. con el caso de los programas de Administración de Empresas a nivel licenciatura, los cuales han ido desapareciendo en muchas universidades y han pasado a ser parte del programa de maestría o doctorado con gran número de materias optativas en diferentes disciplinas. Ciertamente las profesiones se encuentran en medio de un proceso de evolución, que los lleva hacia una visión más amplia de las cosas que nos rodéan.

REFERENCIAS

1.- M.A. Cárdenas. La Ingeniería de Sistemas: Filosofía y Técnicas, Editorial Limusa, México, D.F., 1974.

2.- M.A. Cárdenas. Aplicaciones de Sistemas, Métodos, Modelos y Resultados. Cía. Editorial Continental, (C.E.C.S.A.) México, D.F., 1976.

3.- M.A. Cárdenas. El Enfoque de Sistemas, Estrategias para su Implementación, Editorial Limusa, México, D.F., 1977.

4.- Meadws, et al, Los Límites del Crecimiento, (trad. V. Urquidi), Fondo de Cultura Económica, México D.F., 197

5.- Mesarovic, M y Pestel, E. La Humanidad en la Encrucijada, (trad. y colaboración M.A. Cárdenas). Fondo de Cultura Económica, México, D.F., 1974.

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

NOTAS SOBRE EL PROYECTO MESAROVIC - PESTEL

Miguel A. Cárdenas, Ph. D. -
Colaborador y Consultor del-
Proyecto.

Junio, 1977.

Prohibida la reproducción de estas notas sin previa autorización del autor.

ANTECEDENTES

1.- En abril de 1968 el Club de Roma se formó a raíz de una reunión de treinta científicos, educadores, humanistas, industriales y funcionarios públicos, representantes de 10 países, efectuada en la Academia dei Lincei en Roma, bajo la promoción del Dr. Aurelio Peccei. El tema a discusión era el -- "predicamento presente y futuro de la humanidad ".

2.- Después de una serie de reuniones del Club de Roma efectuadas en diferentes países, surgió la proposición del Prof. J. Forrester (M.I.T.) para desarrollar con base en un lenguaje de simulación por computadora diseñado por él (Systems Dynamics) ,un modelo cuantitativo de las principales realaciones entre los componentes de la llamada "problemática global". Esto ocurrió en el verano de 1970. Entre las principales características de tal problemática, se podría mencionar lo siguiente:

a).- El desarrollo de la comunidad humana en varias direcciones y dimensiones, crecimiento económico, ineficiencia en la utilización y manejo de recursos, crecimiento demográfico, mejoramiento de las condiciones de vida (tanto en cantidades como en calidad), aumento en las oportunidades materiales y espirituales del individuo, mejoramiento en la capacidad de adaptación de las comunidades y sociedades a cambios imprevistos, etc., ha alcanzado el punto en que el avance en algunas direcciones - impide o inclusive retarda el avance en muchas otras; y

frecuentemente a tal grado que el deterîodo resultante amenaza con consecuencias muy graves.

b).- Al mismo tiempo, cuando la fuerza del tiempo y de la historía ineludiblemente está llevando a la humanidad hacia un destino común, los conflictos sociales y desarrollos tecnológicos siguen destrozando la comunidad mundial (y a un grado alarmante) ; y todo indica un incremento de esta tendencia.

c).- No solo el mejoramiento a nivel individual, sino la supervivencia, está siendo amenazada por los cada vez más escasos recursos, incluyendo el " espacio " mismo en que vivimos, el agua y el aire que respiramos. La carrera entre la necesidad y la disponibilidad existe en muchas " direcciones " y no se limita al problema tradicional de la disponibilidad de alimentos, aunque por necesidad este problema siempre tendrá una especial importancia.

d).- Los problemas anteriores se agravan por la aparente inhabilidad por parte de nuestras sociedades y la humanidad entera, para desarrollar los mecanismos de adaptación necesarios a nivel de comunidad (no a nivel individual). Enajenación de los individuos, la creciente burocratización (en lugar de humanización) de los mecanismos socio-políticos, la pobreza espiritual en medio de la abundancia material y el aumento delas restricciones individuales como pre-requisito al progreso de

la sociedad, son solamente síntomas de nuestra inhabilidad para desarrollar una organización que pueda operar armónicamente tanto a nivel comunidad como individual.

e).- El aparente aumento en la tasa de desarrollo, en todas direcciones, hace que se vislumbren con más frecuencia ciertas crisis. Al mismo tiempo, la creciente magnitud de los componentes con los que se tiene que trabajar hace que la reacción del sistema sea todavía más tardada y las consecuencias de estas demoras en la toma de decisiones, se agudicen. En resumen, día a día un gran problema se está haciendo más real por la búsquedad inesperada con que aparecen sus consecuencias, por las inevitables demoras hasta que la medida correctiva se implementa y por los efectos destructivos de tales demoras.

f).- La problemática tiene una dimensión temporal en el sentido que losproblemas mundiales se pueden agrupar, por lo menos inicialmente, en tres categorías: de corto plazo (relativamente hablando, por supuesto), tales como la crisis de energía que se resolverá siempre y cuando las fuentes alternativas de producción de energía se desarrollen; de mediano plazo, tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y la calidad de la vida en muchos aspectos; y de largo plazo, tales como los cambios de clima o ecología adversos a a sa-

lud del humano y otras especies. Estos problemas no están separados uno de otro; ciertamente, la solución de uno está precondicionado por modificaciones necesarias a los otros. Se puede concluir, entonces, que el reconocer las diferencias entre estos tipos de problemática es bueno por razones prácticas y operacionales. El primer tipo de problema podría requerir una " simple " reorientación de prioridades y algunas acciones drásticas (más o menos) dentro del sistema; el segundo tipo probablemente requeriría un análisis más profundo del sistema; el tercer tipo, si ciertamente se descubre que es inminente, requeriría ciertas adaptaciones de la sociedad humana quizá demasiado drásticas para considerarse ahora.

3.- El Profesor Eduardo Pestel del Club de Roma, de inmediato se convenció que los resultados del proyecto antes mencionado, no satisfacerían los objetivos del Club de Roma, principalmente por sus limitaciones metodológicas. Por coincidencia, durante su visita a M.I.T. el Profesor Mihajlo Mesarovic, Director del Systems Research Center (Case Western - Reserve University, Cleveland, Ohio) presentó un seminario introductorio sobre el enfoque jerárquico por multiniveles para el análisis y control de sistemas complejos de grande escala, que él mismo había venido desarrollando desde hacia 10 años. A raíz de esto, surgió un gran interés por aplicar esta nueva metodología, propia para el tipo de problema

enfocado por el Club de Roma; fue así como se iniciaron, a fines de 1971 los primeros trabajos del Proyecto Mesarovic - Pestel, también con respaldo económico de la fundación Volkswagen.

4.- Para el desarrollo del Proyecto, de inmediato se formaron dos grupos de trabajo con personal de alto nivel profesional en una gran variedad de disciplinas (ciencias políticas, agricultura, economía, sistemas, recursos hidráulicos, biología, psicología, etc.), con vase en Case Western Reserve University y en la Universidad Técnica de Hannover, cuya labor inicial era la formulación de marcos de modelación para las principales macro-regiones del Mundo, la selección de metodologías y técnicas, la captación de información básica,-- etc. Los dos objetivos básicos eran:

a).- Desarrollar una herramienta de planeación y decisión que pueda ser utilizada para la evaluación de diferentes políticas de acción y que pueda ser utilizada en la práctica para la búsqueda de soluciones a varios de los problemas relacionados con la "problemática global".

b).- Desarrollar una representación realista del proceso de - desarrollo global que permita un mejor entendimiento de las relaciones causa- efecto dentro del sistema y que -- subsecuentemente nos facilite la evaluación de secuencias alternativas de eventos que pudieran ocurrir en el futuro.

5.- Con un valioso cúmulo de resultados de mucho interés actual, no obstante los escasos 2 1/3 años de trabajo, a principios de 1974 se inició un programa de presentaciones y foros internacionales del Proyecto con el fin de comunicar algunos de estos resultados y de exponer al escrutinio de la comunidad científica internacional, los conceptos y técnicas básicas empleadas. En Salzburgo, Austria -- (Febrero, 1974) se presentó en plan informal a la prensa internacional, el avance del Proyecto. En el Woodrow Wilson Center, Washington (Abril, 1974) se presentaron los principales trabajos y conclusiones de los diferentes submodelos; con asistencia de representantes de alto nivel político y - técnico de E.E.U.U., Canadá y México. En I. I. A. S. A. -- (International Institute of Applied Systems Analysis) Vie - nna, Austria, se efectuó durante la primera semana de mayo - del mismo año, una conferencia de una semana de duración, con participación de más de cien científicos de alto nivel de diferentes disciplinas que representaban a más de veinte países. En la última reunión del Club de Roma, efectuada en Berlín -- (Octubre, 1974) también se presentó un resumen del Proyecto. - Además se han presentado informes breves o aspectos específicos del Proyecto en un impresionante número de conferencias - técnicas en todos los continentes del Globo. Una síntesis del proyecto fue presentada en enero de 1974 al Presidente de Mé - xico y cinco miembros del Gabinete por el Dr. Miguel Angel Cárdenas, lo cual fue recibido con gran entusiasmo.

RESUMEN:

El mundo es uno y a la vez. El futuro es incierto; sin embargo, parece estar guiado por fuerzas que son difíciles de cambiar. Algunos problemas futuros -- que sabíamos llegarían -- han llegado. La dirección del desarrollo futuro del hombre -- hacia prosperidad sin precedente, catástrofe sin precedente o actividad cotidiana normal -- depende del éxito con que afrontemos los principales problemas de hoy en día. Podemos por lo menos, envisionar los contornos de las soluciones para estos problemas o un marco dentro del cual tales soluciones pueden ser identificadas ?.

Todas estas son preguntas que debemos analizar; por la sencilla razón que los cambios en el mundo actual son tan rápidos y de tales consecuencias que lo peor que se pudiera hacer es ignorarlos.

Para estudiar esta problemática, se ha construido una representación de las relaciones macro-regionales críticas para desarrollos globables a largo plazo, en forma de un modelo de computadora. El modelo es fundamentalmente diferente a cualquier otro que se haya construido. El modelo reconoce la diversidad que existe en el mundo actual, la cual tiene raíces en el pasado y prevalecerá sin duda en el futuro; también el modelo representa el mundo como un sistema, esto es, como una colección de partes mutuamente interactuantes e interdependientes; y está basado en datos disponibles y conocimiento actual de los procesos de desarrollo en to-

das las disciplinas científicas relevantes. Además, el modelo incluye la naturaleza adaptativa y carácter subjetivo intrínseco de cualquier sistema que involucra elementos humanos.

Se han investigado varios problemas críticos, en particular al suministro de alimentos, de energéticos, el crecimiento de la población y el desarrollo económico. Se han analizado tendencias a mediano y largo plazo. Las conclusiones se pueden resumir de la siguiente manera:

1) La única forma en que se pueden evitar grandes catástrofes en varias regiones del mundo es a través de la formulación e implementación de soluciones dentro de un contexto global.

2) El desarrollo del mundo se dirige rápidamente hacia la creación de un sistema mundial; el mundo se está convirtiendo en una entidad no por buena voluntad e intención, sino por necesidad. Esto limita la independencia no solo de los débiles y pequeños, sino de los fuertes y grandes también. Sin embargo, no es la unidad de una masa uniforme, sino la unidad orgánica de las entidades diferenciadas, la que puede existir en el futuro. Lo que se requiere es una mayor integración y diferenciación - cultural, política y económica.

3) Es irrefutable el hecho que existen límites al crecimiento no diferenciado. Sin embargo, es erróneo habla de tales límites en términos de un concepto rígido de un solo sistema mundial. - Los límites al crecimiento no diferenciado aparecen en diferentes formas, en diferentes partes del mundo y en diferentes luga-

res: el crecimiento de la población impone uno de los límites, el desarrollo económico excesivo otro, el deterioro ambiental y la sobre-explotación de los recursos naturales aún otros, -- etc. Paradójicamente, la prescripción para evitar el crecimiento no - diferenciado, es el crecimiento mismo, pero un crecimiento orgánico en el que cada componente del sistema va cambiando constantemente en la dirección de un crecimiento total. Crecimiento orgánico es vida, mientras que el crecimiento no - diferenciado es conceroso y eventualmente mortal.

4) El camino a cualquier solución no es único. Pero el número de acciones generalmente es menor de lo que seguido se cree. Y cada vez es menor: Las demoras en la toma de acción no solo costosas, sino mortales.

Si no se toman decisiones y acciones con tiempo, solo nos quedará una opción: derrota. Si las acciones han de ser útiles, deberán ser de tipo "anticipatorio", esto es, dirigidas hacia prevenir y no hacia la solución drástica de eventos que ya están ocurriendo o que inevitablemente ocurrirán. Lo que se requiere es - un sistema de alerta global.

CONCEPTOS METODOLOGICOS

1.- Cualquier modelo de un sistema real solo describe aque - llas relaciones relevantes al objetivo que se persigue. La validez del modelo y su utilidad práctica depende del éxito en la selección de estas soluciones básicas. En el caso del Proyecto Mesarovic Pestel, nos interesamos en los problemas - a largo plazo (más de 50 años) y la estructura de los submode los formulados refleja por lo que no se trata de un modelo del mundo", sino solo un modelo de ciertas relaciones globales de importancia para la evaluación de diferentes tenden cias futuras a largo plazo.

2.- Existen dos problemas básicos de cualquier sistema de gran- de escala: la complejidad y la incertidumbre.

Para minimizar elproblema de complejidad, se utilizó un proceso de descomposición macro-regional del Globo; lo que resultó en - la represntación del "sistema mundial" en términos de diez regio nes mutuamente interactuantes e interdependientes. (ver anexo 1). La selección de las regiones se hizo con base en las tradiciones, historia, estilo de vida, desarrollo económico y otros factores. Además se utilizó el concepto de "estratificación por niveles jerárquicos" a través del cual se describe el sistema total utili zando el enfoque de varias disciplinas para formular los modelos de los diferentes componentes o niveles de la estructura jerár- quica (ver anexo II). La descripción de los modelos de "menor" nivel es del tipo causal, esto es,los subsistemas se describen

en términos de las relaciones causa-efecto involucradas. Los elementos de "mayor" nivel se modelan a través de una representación "por objetivos" (goal - seeking), esto es, el sistema se describe en referencia a ciertos objetivos o metas y a la forma en que responde a los cambios del ambiente externo para preservar esas metas. Esto último se logra a través de una combinación "hombre-computadora", por medio de la cual -- los conceptos lógicos y cuantitativos de las metas y objeti - vos , así como las alternativas de decisión disponibles, se - representan en la computadora, pero la selección real de al - ternativas la hace el hombre, quien con su decisión, refleja su juicio y valores individuales.

Para minimizar el problema de incertidumbre, se utilizan dos estrategias complementarias: el análisis por escenarios y el análisis de interacción. En el análisis por escenarios, se postula una secuencia de eventos factibles futuros, los - cuales determinan las alternativas de decisión disponibles, - las cuales se aplican enseguida al componente causal del modelo y de esta forma se analiza y se describe la evolución del sistema. Al evaluar las características de diferentes escena - rios futuros, se pueden extraer aspectos comunes a todos ellos, esto es, se puede lograr establecer ciertas conclusiones sobre el futuro con una alta probabilidad de ocurrencia. El análisis de interacción, por otro lado, es en cierta forma una serie de análisis de escenarios que consideran un menor incremento de - tiempo cada uno. Los datos para el componente causal no se es-

pecifican para todo el horizonte de tiempo de interés, sino por incrementos. Después de correr el modelo para cada incremento de tiempo, se evaluan los resultados y utilizando- la intuición y juicio del tomador de decisiones (usuario -- del modelo), se modifican parámetros o inclusive la estructura del modelo antes de proseguir al siguiente período de tiempo. Por medio de este proceso de aprendizaje e interacción hombre-computadora, se logra un conocimiento profundo de los patrones de comportamiento del sistema modelado.

3.- Con el arreglo vertical, jerárquico de los subsistemas denominados niveles o estratos (Ver anexo III), se pretende indicar que:

a).- la operación de los subsistemas de menor nivel es condicionada y restringida por las acciones de los niveles superiores.

b).- el éxito de la operación de los subsistemas de mayor nivel depende del funcionamiento apropiado de - los subsistemas en los niveles inferiores.

Nótese que no se trata de una descomposición "física" del sistema, sino una descomposición conceptual flexible, orientada a simplificar y poder rastrear el impacto de los diferentes - componentes y variables de interés del sistema en sus diferentes relaciones entrada-salida y su evolución.

Bajo condiciones normales cada nivel (subsistema) tiene su propio dominio de acción y las interacciones son menos pronuncia-

das.

Bajo condiciones de "crisis" , los subsistemas interactuan con mayir intensidad exceptualmente "aglutinándose" en una masa amorfa (sistema dinámico de un nivel) en la cual - los subsistemas de mayor nivel continuamente y en forma no sistemática cambian condiciones y restricciones en búsqueda de un mejor funcionamiento, mientras que los niveles inferiores tienen que adaptarse desorganizadamente a estas condiciones cambiantes.

4.- Nótese la diferencia entre la metodología utilizada aquí y las técnicas aplicadas en otros tipos de modelación por computadoras (simulación, optimización, etc.). Nuestro enfoque no sólo se basa en una representación numérica del sistema, - sino que incluye relaciones cualitativas y lógicas, además de hacer uso de procedimientos "huerísticos" de toma de decisiones . La herramienta desarrollada no es un "predictor", sino una extensión de nuestra lógica y visión del futuro.

5.- En cada nivel de la estructura jerárquica del sistema, se desarrollan "familias" de modelos con diferentes grados de -- agregación (ver anexo IV). En la modelación de sistemas complejos generalmente existen tres problemas:

a).- La necesidad de presentar el modelo en una forma lo - suficientemente simple para que sea entendible y lógico a los tomadores de decisiones.

b).- La incertidumbre relacionada con las controversias y políticas que serán evaluadas por medio del modelo.

c).- La necesidad de representar el modelo en términos de variables físicas o reales, para las cuales existan datos, y que puedan ser medidas y por lo tanto utilizadas para validación.

Para lo anterior, se construyeron modelos con tres grados de agregación:

Un modelo altamente agregado que se implementaría en el estrato causal durante un análisis de interacción del sistema.

Un modelo de mediano nivel de agregación que establece la relación entre los principales componentes del modelo y los subsistemas de las regiones geográficas definidas.

Uno o más modelos formulados en términos científicos y detallados, que permita (n) un mejor entendimiento del comportamiento y reacción de los subsistemas individuales; y validarlo (s) directa y explícitamente en términos cuantitativos

En el modelo de mayor agregación no deberá existir regionalización; en el de mediano grado de agregación, cada nivel deberá regionalizarse según las fronteras geográficas y funcionales prevalecientes. En estos dos tipos de modelos podrían incluirse parámetros específicos en forma de indicadores gruesos que podrían

ser referidos al sistema real indirectamente o por medio de análisis detallado en el mínimo nivel de agregación.

ANEXO I

APPENDICE: REGIONS AND NATION MEMBERS

1. North America: Canada, USA

2. Western Europe: Andorra, Austria, Belgium, Denmark, Federal Republic of Germany, Finland, France, Great Britain, Greece, Iceland, Ireland, Italy, - Liechtenstein , Luxembourg,Malta, Monaco, - Netherlands, Norway, Portugal, San Marino, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, Yugoslavia.

3. Japan

4. Rest of Developed: Australia, Israel, New Zealand, South -- African Republic

5. Eastern Europe: Albania, Bulgaria, Czechoslovakia, German Democratic Republic, Hungary, Poland, Rumania, Soviet Union

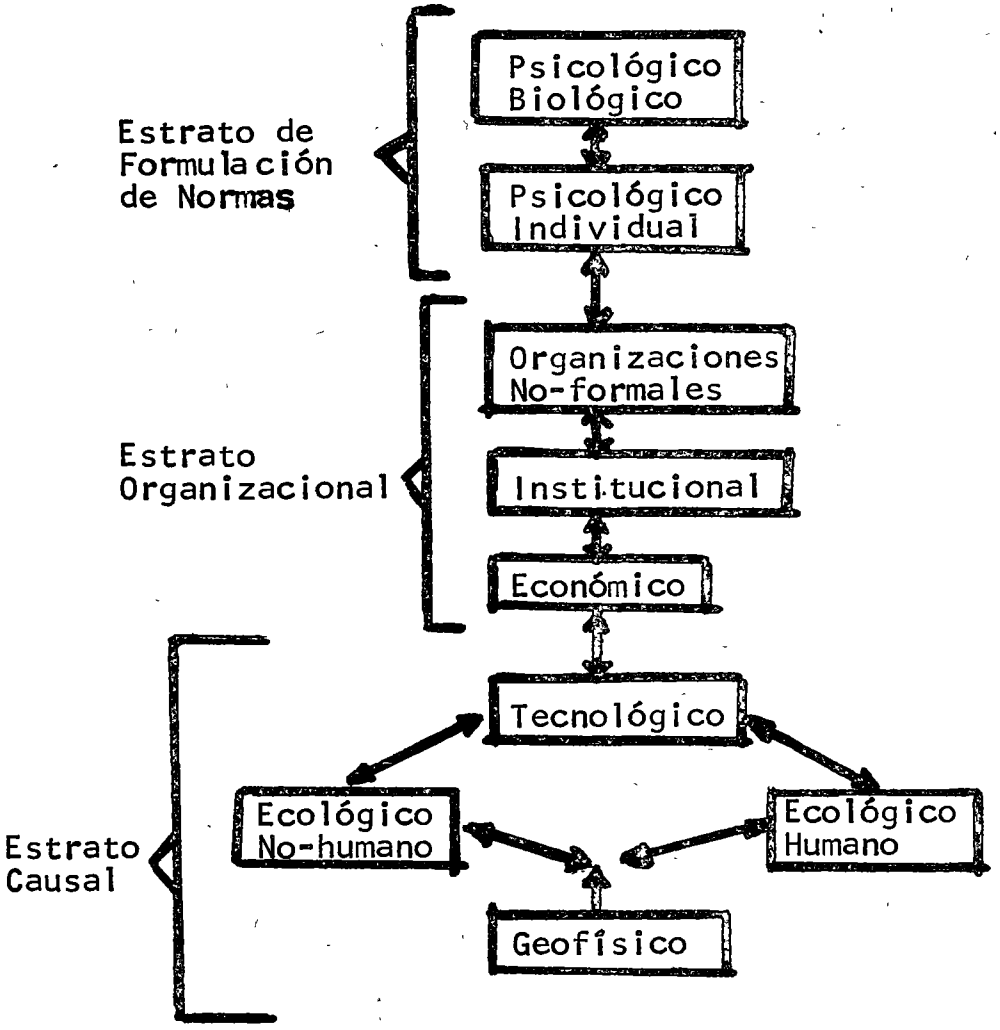
6. Latin America: Argentina, Barbados, Bolivia, Brazil, British Guyana, British Honduras, Chile, Columbia, Costa Rica, Cuba, Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, French Guyana, Guatemale, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Surinan, Trinidad and Tobago, Uruguay, Venezuela.

7. Middle East: Abu Dhabi, Aden, Algeria, Bahrain, Cyprus, -- Dubai, Egypt, Iran, Iraq, Jordan, Kuwait, Lebanon, Libya, Morrocco, Masqat-Oman, Qatar, Saudi -- Arabia, Syria, Trucial Oman, Tunisia, Yemen

8. Main Africa: Angola, Burundi, Cabinda, Cameroun, Central African, Republic, Congo, Dahomey, Ethiopia, French Somali Coast, Gabon, Gambia, Ghana, Guinea, Ivory Coast, Kenya, Liberia, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritania, Mauritius, Mozambique, Niger, Nigeria, Portuguese Guinea, Rwanda, Senegal, Sierra Leone, Somalia, South Rhodesia, South West Africa, Spanish Guinea, Spanish Sahara, Sudan, Tanzania, Togo, Chad, Uganda, Upper Volta, Zaire, Zambia.

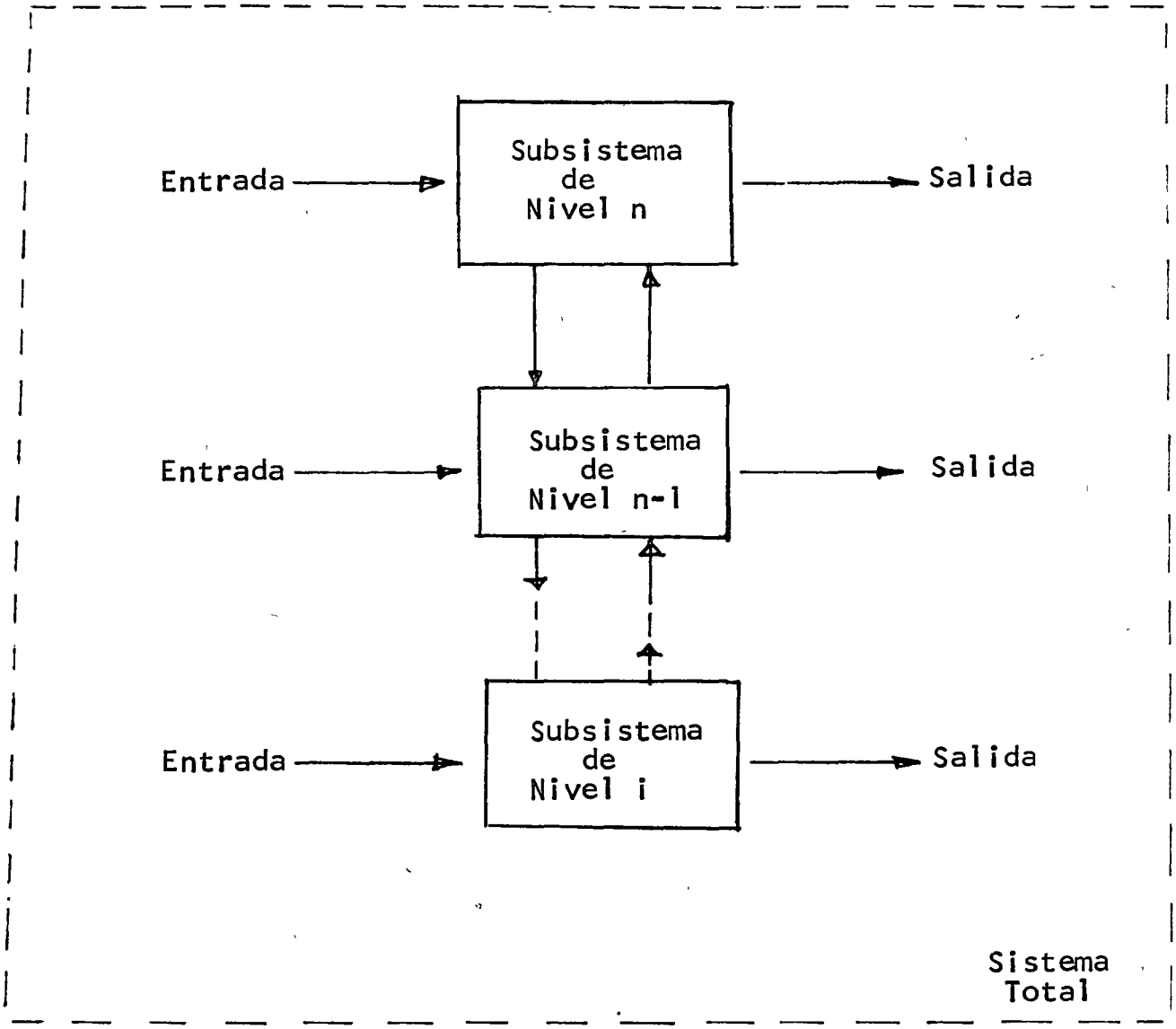
9. South East Asia: Afghanistan, Bangla Desh, Burma, Cambodia,- Ceylon, India, Indonesia, Laos, Malaysia, Nepal, Pakistan, Philippines, South Korea, South Vietman, Taiwan, Thailand.

10. China: Mongolia, North Korea, North Vietman, People's Republic of China.



El Sistema Multinivel de la Sociedad

Anexo II

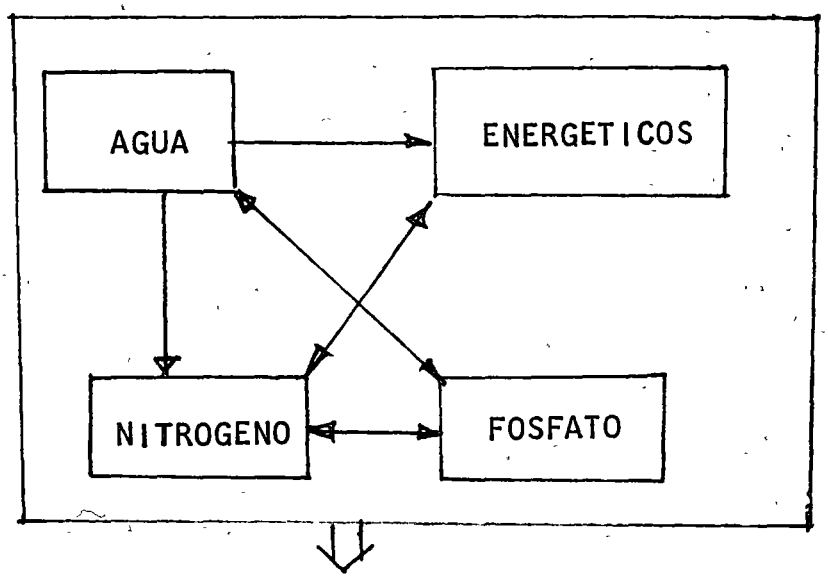


Arreglo Jerárquico Vertical por Subsistemas

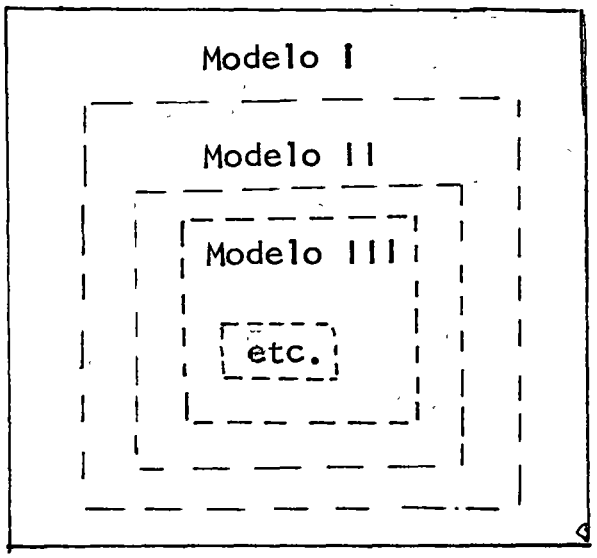
Anexo III

NIVEL

GEOFISICO



AGUA



Anexo IV

APPENDICE: PUBLICATIONS, REPORTS AND WORKING MEMOS

1. M.Mesarovic and E. Pestel"A gould-Seeking and Regionalized Modelfor Analysis of Critical World Relationships - The -- Conceptual Foundation", Kybernetes Journal, Vol. 1, 1972; also, Report No. 1 of the Multilevel World Project at -- Technical University Hannover.

2. M. Mesarovic and E. Pestel, " World Crisis and the Role of Cybernetics in Search of Solutions", Proceedings of the -- World Congress on Cybernetics and General Systems Theory, Oxford University, England, 1972.

3. M. Mesarovic and E. Pestel, "Causal Stratum for M-P World Model", Proceedings of the World Congress on Cybernetics and General Systems Theory, Oxford University, England,1972.

4. Robert Pestel, "A Multilevel Approach to the Modeling of the World System - A progress Report", Proceedings of the 1972 International Conference on Cybernetics and Society, Washington, D.C., 1972.

5. M. Mesarovic, A. Erdilek and R. Pestel, "Empirical Validation of a Dynamic Model of the Regionalized World Economic System", presented at the NATO Conference on "Cybernetic Modeling of Adaptive Organizations", Lisbon, 1973.

6. M. Mesarovic, et al., "Construction of a Dynamic Model of the Regionalized World Economic System", Report No. 2 of the -- Multilevel World Modeling Project at Technical University -- Hannover, 1972.

7. M. Mesarovic, et al., "An Interactive Decision Stratum for the Multileve World Model" , Technical University Hannover, Report No. 3, January, 1973.

8. M. Mesarovic and E. Pestel, "Strategy for Survival - A Club of Rome Project in the Predicament of Mankind Study", 1973.

9. G. Saha and M. Mesarovic, "Phosphorus as a Resource", an Interim Report, January, 1973.

10. M. Mesarovic and E. Pestel, "On Complex Systems, Global Crises and Strategies for Crisis Solution", Working Memo, Technical -- University Hannover, 1973.

11. Roy Young, "Catastrophic Change in the Agricultural Sector and the Implications for World Memo, Case Western Reserve University, 1973.

12. Jim Soeder, "Energy Consumption Model for North America, - Latin America and the Middle East", Working Memo, Case -- Western Reserve University, 1973.

13. Barry Hughes, "The Regionalized Multi-Level World Model : A Progress Report", presented at the Annual Convention of - the International Studies Association, New York, 1973.

14. M. Mesarovic, "Interactive Mode Analysis of World Energy -- Crisis", to be presented at the panel on Gaming Simulation With Computer Network, Summer Computer Simulation Conference, July 1973.

15. M. Mesarovic and E. Pestel, "Systems Theoretic Basis for -- Modeling of the World System", to be presented at the International Symposium on Systems Theory and Environment, Bavarian Academy of Science, 1973.

16. Barry Hughes, "Instruction Booklet for the Developed Region Energy Model", Case Western Reserve University, 1973.

17. M. Mesarovic, et. al., "An Implementation of the World Economic System Model", Technical University Hannover, Report No.4, July, 1973, two volumes.

18. John M. Richardson, Jr., "Gaming-Simulation Using Computer -- Communication as a Tool for Policy Analysis: A Brief from the Devil's Advocate", presented at the Summer Computer Simulation Conference, Montreal, August, 1973.

19. Hartmut Bossel and Barry Hoghes, "Simulation of Value-Controlled Decision-Making: Approach and Prototype, "Institut fur Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, Germany, an Interim Report, August, 1973.

20. Asim Erdilek, "Implementation of Dynamic Economic Model of the World System", NATO Conference on Cybernetic Modeling of Adaptative Organizations, Porto, Portugal, August, 1973.

21. M. Mesarovic, et. al., "An Interactive Decision Stratum for the Multilevel World Model", Futures (August, 1973), pp.357-366.

22. W.B. Clapham, Jr., T. Shook, H. Bassler, "Data Base for the Food Scenario Analysis," Case Western Reserve University, December 1973.

23. Hartmut Bossel and Barry Hughe "Energy Supply Planning: Simulation Model and a Look at Operation Independence," Case -- Western Reserve University, December 1973.

24. Hartmut Bossel, "Energy Supply Planing: Simulation Model", January 1974.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

	NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
1.	ING. FRANCISCO ALBERT RUEDA Lope de Vega # 237-9 Col. Polanco México 5, D. F., Tel. 531.39.15	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Universidad S/N Col. Narvarte Tel. 590.31.30
2.	ING. JOSE MANUEL ARANGO MALDONADO B. Juárez 101, Begonias #6 Col. Los Robles, Coyoacan México 22, D. F Tel. 544.39.00	COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO, S.A.R.H Tepic # 40 Col. Roma Tel. 574.39.75
3.	CRESCENCIO ARROYO GARCIA Dr. Vértiz # 833-301 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 543.21.86	UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA - XOCHIMILCO Calz. del Hueso y Canal Nacional s/n Col. Villa Coapa Tel. 594.78.33 Ext. 114
4.	RENE ALVAREZ RUGERIO U. Sto. Domingo F-4 No. 2 Tacubaya, D. F. Tel. 516.90.86	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Fernando # 268 Tel. 590.38.29
5.	OSCAR A. ARIZPE COVARRUBIAS Roa Barcena # 242 Col. Vista Alegre México 8, D. F. Tel. 519.02.43	DIR. GRAL. DE ACUACULTURA DEPTO DE PESCA Alvaro Obregón # 269 7o. Piso México 7, D. F. Tel. 514.35.14 y 514.35.38
6.	ROBERTO AYALA COVARRUBIAS Manzana 6, Grupo 4, Casa 1 Col. Unidad Santa Fé México 18, D. F. Tel. 515.49.50	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México 12, D. F. Tel 590.31.30
7.	ING. EDUARDO AZTEGUI TORRES TORIJA Calle América Núm. 35 Col. Parque San Andrés México 21, D. F. Tel. 549.12.78	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad 1er. Piso México 12, D. F. Tel. 519.76.60 y 544.36.37

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

	NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
8.	ING. JOSE D. BAEZ PALACIOS Manuel María Contreras #107 Col. San Rafael México 4, D. F. Tel. 535.57.28	PETROLEOS MEXICANOS Av. Marina Nacional # 329 Col. Verónica Anzurez México 17, D. F. Tel. 545.74.60 Ext. 2849
9.	SR. RICARDO BAHENA BRITO	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad Tel. 530.04.21
10.	ING. MEC. ELEC. JUAN BALDERAS ZEPEDA Av. Río Sur 15-E Col. Arboledas Naucalpan Edo. de México Tel. 379.07.20	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO Melchor Ocampo # 171-407 México 17, D. F. Tel. 592.07.65
11.	SR. RICARDO R. BOISSON GARCIA Oriente 49 # 156-1 Col. Villa de Cortes México 13, D. F. Tel.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma # 20 4o. Piso México 1, D. F. Tel. 591.14.61 y 591.14.60
12.	ING. MEC. ELEC. CARLOS BRAVO ANAYA Perugino # 2-201 Col. Mixcoac Tel. 598.10.17	IBM. DE MEXICO, S.A. Mariano Escobedo # 595-2o. Piso México, D. F. Tel 250.90.11
13.	SR. RICARDO G. BRAVO CACHO Calle de Pericos #5 Col. Las Aguilas México 20, D. F. Tel. 593.47.31	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Col. Hipodromo Condesa México 11, D. F. Tel. 593.51.01
14.	ING. Q. GERARDO RAMON BUELNA ACEDO Normandía # 36-5 Col. Portales Mexico 13, D. F. Tel. 581.40.36	C.E.C. DESFI. UNAM Tacuba # 5 Col. Centro México 1, D. F. Tel. 512.13.57

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
15. SR. FRANCISCO BUSTEROS GARCIA Edif. 10 Dept. 201 Col. Villa Olímpica Tlalpan, D. F. Tel 568.43.76	E.N.E.P. ACATLAN Av. Alcanfores Esq. Vista del Valle Jardines de San Mateo Naucalpan, Edo. de Méx. Tel.
16. ING. MA. GUADALUPE CABRERA URIBE	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad # 1755 P.B. Col. Narvarte México 12, D. F., Tel. 530.09.96
17. ING. RAFAEL CAMPERO C.U. Alguacil # 7 Col. Coapa, D. F. Tel. 594.49.20	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Avena # 513 Col. Granjas México
18. ARQ. JULIO ROBERTO CANALES LEAL La Soledad # 14 Fuentes de Satélite Satélite , D. F. Tel.572.23.75	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Fernando # 268- P.B. Col. Alamos Tel. 590.88.29
19. FIS. GABRIEL CARMONA WALKUP Av. Sonora # 111-6 Col. Condesa México 11, D. F. Tel. 286.03.86	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Teotihuacan # 19 Tel.
20. ENRIQUE CARRASCO RODRIGUEZ Miguel Autunez # 27 Col. Plutarco Elías Calles México 17, D. F. Tel. 547.20.45	SUB. SRIA. FORESTAL Y DE LA FAUNA Aquiles Serdán # 28 México 1, D. F. Tel. 521.20.98
21. SR. JESUS CISNEROS DE LOS SANTOS Calle 643 # 237 Secc. IV Y V Col. Unidad San Juan de Aragón México 14, D. F. Tel.	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola esq. Universidad México 12, D. F. Tel. 530.33.36

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
22. ING. IND. JORGE ANTONIO COINO Emperadores # 184 - 405 Col. Portales México 13, D. F. Tel. 590.31.50	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México 12, D. F. Tel. 590.21.22
23. SR. FCO. JAVIER CONTRERAS WEBER Av. Dr. Vértiz # 985-13 Col. Narvarte México 12, D. F., Tel.	C.I.E.P.S., S.C. Córdoba # 127 Col. Roma México 7, D. F. Tel. 584.16.99
24. SR. JORGE CORCHADO GONZALEZ Retorno 11 Genaro García, Edf.47-C Depto. 16 Tel. 553.45.60	DIREC. INSTRUMENTACION SIST. INFORMATICA (S.S.A.) Reforma # México 5, D. F.
25. ING. EDGARD M. COSGALLA COSGALLA Viaducto Tlalpán # 4749 (Casa 1) Col. Club México México 22, D. F. Tel. 573.63.38	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México 12, D. F. Tel. 538.68.88
26. ING. RAFAEL COVARRUBIAS ORTIZ Anaxágoras # 588-4 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 542.72.28	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma 20 Mezzanine México 1, D. F. Tel. 546.95.36
27. SR. ABEL CRUZ GALVAN Pedregal # 52 Col. Lomas México 10, D. F. Tel. 520.47.49	CETENAL San Antonio Abad # 124 Col. Tránsito México D. F. Tel. 578.62.00 Ext. 105
28. ING. JORGE DE ALBA CASTAÑEDA	I.C.A. INTERNACIONAL Minería # 145 Col. Escandón México 18, D. F. Tel. 516.04.60 Ext. 320

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
29. SR. FRANCISCO DE LA GARZA CAMPOS Guerrero # 325-F-1324 Col. Tlatelolco México 3, D. F. Tel.	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Barragán # 779- 8o. Piso México 12, D. F. Tel. 579.40.15
30. ING. GUILLERMO RAFAEL DOMINGUEZ L Platanales # 187 Col. Nueva Sta. María México 16, D. F. Tel. 556.65.73	INFONAVIT Macedonio Alcalá # 10 Col. Guadalupe Inn México 20, D. F. Tel. 593.42.33
31. ING. CARLOS DOORMAN MONTERO Calle 6 # 329 Col. Vértiz Narvarte México 12, D. F. Tel. 567.84.96	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Av. de los 100 Metros # 152 México 14, D. F. Tel. 567.92.98
32. LIC. JAIME ESCUTIA SERRANO Amores # 133-406 Col. Del Valle México 12, D. F. Tel. 523.75.74	DESPACHO PROPIO Tehuantepec # 86 Desp. 304 Col. Roma México 7, D. F. Tel. 564.77.26 y 574.61.73
33. SR. CONRADO FARIAS SUR 89 # 247 Dep. D1 - 404 Col. Unidad Modelo México 13, D. F. Tel. 581.05.80	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Universidad y Xola México 13, D. F. Tel. 590.21.22
34. ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA Crestón # 336, Pedregal de San Angel México 20, D. F. Tel. 568.11.24	ICA INTERNACIONAL, S.A. Minería # 145 Col. Escandón México 18, D. F. Tel. 515.03.17
35. ARQ. ISMAEL FERNANDEZ MEJIA Parroquia # 201-801 Col. del Valle México 12, D. F. Tel. 524.04.18	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Insurgentes Sur 1443 México 12, D. F. Tel. 563.80.76

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPREA DIRECCION
36. ING. JESUS NICOLAS FIGUEROA C. Av. de las Granjas # 86 Col. Sector Naval México 16, D. F. Tel. 561.11.14	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Fernando # 268 México D. F. Tel. 579.09.87
37. ING. JORGE A. FIGUEROA CERVERA Av. de las Granjas # 86 Col. Sector Naval México 16, D. F. Tel. 575.14.40	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México 12, D. F. Tel. 519.12.85
38. SR. RAFAEL FUENTES BENITEZ	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Universidad y Xola México 12, D. F. Tel. 590.41.05
39. ING. JUAN GAITAN INIESTRA N. Bravo Sur #212 Toluca, Edo. de Méx. Tel. 530.60	UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO F.I. Ciudad Universitaria Toluca, Edo. de Méx.
40. ING. Q. ARMANDO GALINDO GUTIERREZ Oriente 233 # 289 Col. Agrícola Oriental México 9, D. F. Tel. 588.97.52	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Av. de los 100 Metros # 152 México 14, D. F. Tel. 5.67.66.00
41. ARQ. ARTURO GARCIA ALVAREZ Valle del Oro No. 15 Col. Valle de Aragón México, D. F. Tel. 537.05.68	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Fernando # 268. P.B. México 12, D. F. Tel. 590.84.29
42. SR. JONATHAN GARST THLHEIMER 1er. Callejón de S. Juan de Ríos # 1 #22 Col. Guerrero México 3, D. F.	UNAM ESTUDIOS SUPERIORES Ciudad Universitaria

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
43. ING. Q. DAVID GOMEZ SALAS Rancho las Pampas # 45 Santa Cecilia, Coapa México, D. F. Tel. 549.80.24	COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO Tepic # 40 México 7, D. F. Tel. 584.72.74
44. SR. IGNACIO GONZALEZ GOMEZ Viaducto Piedad # 580 A 21 Col. Magdalena Mixuca México 13, D. F. Tel. 768.54.57	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO Melchor Ocampo # 171 México 14, D. F. Tel. 592.04.13
45. SR. MIGUEL ANGEL GONZALEZ TORRES Palacio de Gobierno # 68 Col. Metropolitana Nezahualcoyotl	GUANOS Y FERTILIZANTES DE MEXICO, S. A. Av. Cuauhtemoc # 1236 Tel. 559.14.66 ext. 158
SR. HEBERTO GUERRERO LOPEZ Avila Camacho # 25 Col. Huizachal Naucalpan, Edo. de Méx Tel. 589.74.64	INSTITUTO SEGURIDAD SOCIAL FUERZAS ARMADAS Av. Industria Militar # 1053 Col. Lomas de Sótelo Tel. 557.24.66 ext. 110
47. ING. ROBERTO HEATLEY CORTES Augusto Roain # 358-307 Col. Mixcoac México 19, D. F. Tel. 598.16.35	SEFI - UNAM Palacio de Minería Tacuba # 5 México 1, D. F.
48. LIC. MIGUEL ANGEL HOFFMANN SALMERON	SUBSECRETARIA FORESTAL Y DE LA FAUNA
49. ING. JUAN R. HUET MORALES Mier y Pesado # 123-3 Col. del Valle México 12, D. F. Tel. 536.25.55	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma # 20 Mezzanine México 1, D. F. Tel. 592.22.45

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
50. SR. JOSE ANTONIO KURI ABDALA Av. Revolución # 342 Col. San Pedro de Los Pinos México 18, D. F. Tel. 516.54.06	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Avenida Universidad y Xola México 12, D. F.
51. ING. RAMON JAVIER LARRAÑAGA A. San Juan de Letrán # 503-1203 Col. Tlatelolco México 3, D. F. Tel 583.55.39	SUBSECRETARIA FORESTAL Y DE LA FAUNA Insurgentes Sur # 476 México 7, D. F.
52. MAT. YOLANDA LAZO TISCAREÑO Zempoala # 295-204 Col. Narvarte México 12 D. F. Tel. 696.12.15	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Insurgentes Sur # 1443 México D. F. Tel. 563.80.76
53. ING. ENRIQUE LEDON QUINTERO Mauricio M. Campos # 4 Circuito Arquitectos Satélite Edo. de México Tel. 572.49.42	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México 12, D. F. Tel. 530.22.33
54. LIC. DANIEL LEON GARCIA Av. Morelos # 21 Primer Piso	AEROMAPAS, S. A Av. Morelos 21 México 1, D. F. Tel. 510.93.72
55. ING. FRANCISCO J. LEYVA GARCIA Victoria # 195-4 Col. Industrial México 14, D. F. Tel. 517.13.31	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma # 107- 1er. Piso México 14, D. F. Tel. 566.06.88
56. ING.Q. FRANCISCO LISCI MIAJA Av. Francia # 12 Col. Florida México 20, D. F. Tel. 524.51.37	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Av. de los 100 metros # 152 México D. F. Tel. 567.66.00

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE de 1977

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
57. ING. VICTOR E. LOPEZ GONZALEZ Siempreviva # 126 Col. Xotepingo México 21, D. F. Tel. 549.54.81	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Dr. Barragán # 779 México 12, D. F.
58. ING. LUIS LOPEZ GONZALEZ Cerrada de Felix Cuevas # 7-5 Col. del Valle México 12, D. F. Tel. 559.91.52	C.A.V.M. (S.A.R.H.) Balderas # 55- 2o. Piso México 1, D. F Tel. 585.50.66
59. SR. IGNACIO MACHORRO GARCIA California # 19 B - 402 Col. Parque San Andrés Coyoacan, D. F. Tel. 550.12.71	SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO Dr. Mora # 15 México 1, D. F. Tel. 585.21.11
. . ING. GUILLERMO MACIAS GARCIA V. Cuernavaca # 5 - Col. Condesa	COMISION NACIONAL COORDINADORA DE PUERTOS Cuernavaca # 5 Col. Condesa México 13, D. F. Tel. 553.89.74
61. SR. AURELIANO MARTINEZ GONZALEZ Nabor Carrillo # 17 Col. Olivar de los Padres México 20, D. F. Tel. 595.42.10	FIDEICOMISO COMISION PROMOTORA CONASUPO Niños Heroes # 41 2o. Piso México 7, D. F. Tel. 761.06.30
62. ING. SALVADOR MEDINA RIVERO Av. Revolución # 314-403 B México 18, D. F. Tel.	CEC. DESFI.UNAM Tacuba # 5 México 1, D. F Tel. 512.51.21
63. SR. FERNANDO MENDOZA VANEGAS Albatros # 10 Col. Las Arboledas Atizapán Edo. de México Tel.	GUANOS Y FERTILIZANTES DE MEXICO, S.A. Av. Cuauhtemoc # 1236 México 7, D. F. Tel. 559.14.66

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
64. SR. RAMON MENDOZA AVINA Sassari # 23 Col. Lomas Estrella México 13, D. F. Tel. 670.06.53	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO (SARH) Balderas # 55 México 1, D. F. Tel. 585.50.66
65. ING. MEC.ELEC.ARMANDO MOCTEZUMA D Francisco I. Madero # 15 Pte. Col. El Huizachal México 10, D. F. Tel. 589.17.81	PETROLEOS MEXICANOS Marina Nacional # 329 Edf.B-1 Col. Anahuac México 17, D. F. Tel. 250.09.64
66. ING.ARQ.JUAN JACOBO MUÑOZ VARGAS Norte 26 # 336 Col. Industrial México 14, D. F. Tel. 517.23.07	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Fernando # 268 1er. Piso México 12, D. F. Tel. 590.85.52
67. SRTA. BARBARA MURGUIA MARIN Gladiolas # 404 Col. Frac. La Florida Naucalpan Edo. de México Tel. 373.06.83	DIR. GRAL. DE INGENIERIA DE SISTEMAS Centro Scop. México 12, D. F. Tel. 590.64.82
68. LIC. ROBERTO OCAMPO LEON Av. Universidad # 2014Edf. México 1 Departamento 802 Col. Coyoacan México 20, D. F. Tel. 519.35.41	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola # 1755 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 530.09.96
69. SR. OSCAR OLIVARES PELAEZ Av. de Los Chopos # 70 Fraccionamiento Arcos del Alva Cuautitlan-Izcalli Tel.	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. de los Constituyentes # 849 Col. Tacubaya, D. F Tel. 515.74.52 y 277.67.87
70. SR. EDGAR ORTEGA FLORES Privada de Morelos No. 12 Col. Morelos Naucalpan Edo. de México Tel. 576.43.36	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola 1755 México 12, D. F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
71. SR. CARLOS ORTIZ ROSAS Regina # 163 - C México 1, D. F.	ENEP. ACATLAN, UNAM Av. Alcanfores Esq. Vista del Valle Acatlán, Edo. de México
72. ING. LUIS G. PALACIOS BARCELO Oasis # 72 Col. Claveria México 16, D. F. Tel. 527.50.76	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México 12, D. F. Tel. 519.51.34
73. SR. JOSE LUIS PATIÑO DONNADIEU	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Universidad y Xola Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 590.21.22
74. P.I.C. RUBEN PEÑA GONZALEZ Leon Guzmán # 104-6 Toluca Edo. de México	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Guerrero # 806 Toluca Edo. de México Tel. 4.54.24
75. ING. JOSE DIOGENES PEREZ P Playa Miramar # 540-303 Col. Reforma Iztaccihuatl México 13, D. F.	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Xola #1755 México 12, D. F. Tel. 519.12.43
76. ING. JOSE ALFREDO PEREZ AGUILAR Cuvier # 16 Col. Anzurez México 5, D. F. Tel. 531.13.69	GONZALEZ ACUÑA Y ASOCIADOS Magdalena # 24 Col. Del Valle México 12, D. F. Tel. 523.53.99
77. ING. SANTIAGO RAMON AGUILAR Puerto Escondido # 198 Condominio Bugambilias Cuernavaca, Morelos Tel. 3.59.51	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
78. ING. ANGEL PEREZ RAMIREZ Tabasco # 196 B Col. Roma México 7, D. F. Tel. 511.74.43	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Av. de los 100 Metros # 152 México 14, D. F. Tel. 567.66.00 Ext. 2314
79. SR. LUIS JOAQUIN POOT AYALA Dr. Vértiz # 757-27 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel.	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Insurgentes Sur # 1443 México 8, D. F. Tel. 563.13.65
80. SR. SIXTO PULGARIN FIGUEROA Salaverry # 1075-2 Col. Lindavista México 14, D. F. Tel. 586.25.18	INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL Unidad Profesional de Zacatenco Col. Lindavista México 14, D. F.
81. SR. LUIS RAGGI CARDENAS Av. Universidad # 1815-102 Col. Oxtopulco México 20, D. F. Tel. 564.10.88	DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA, S.A.de C.V. Culiacán # 108- 3o. Piso México 11, D. F.
82. LIC. DOLORES ROBLEDO DE ACOSTA Nilo # 33- A Col. Cuauhtemoc México 5, D. F. Tel. 528.68.95	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Universidad y Xola México 1 2, D. F. Tel. 519.12.43
83. SR. FRANCISCO JAVIER RAMIREZ E. Amsterdam # 19-A Col. Hipódromo México 11, D. F. Tel. 525.64.92	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma # 20 1er. Piso Mexico 1, D. F. Tel. 591. 14. 60
84. ING. CARLOS RAMOS BLANCOS Av. Cuauhtemoc # 849-3 Col. del Valle México 12, D. F. Tel. 523.44.88	PETROLEOS MEXICANOS

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION .	EMPRESA DIRECCION
85. ING. ARTURO SALOMON RODRIGUEZ V. Plutarco Elías Calles # 1362- 301 Col. Prado-Churubusco México 13, D. F. Tel. 532.97.18	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma # 20 1er. Piso Mexico 1, D. F. Tel. 591.14.60
86. ING. MEC. ELEC. FRANCISCO SANCHEZ L Edif. 42 Entrada A Depto. 302 Unidad Lindavista-Vallejo México 14, D. F. Tel. 567.42.03	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Av. de los 100 Metros # 152 México 14, D. F. Tel. 567.84.96
87. SR. VIDAL SOLORZANO DE LA V. Cantaro # 46-D-407 Villa Coapa, D. F. México 23,	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Complejo SAHOP (Narvarte) Tel. 590.27.64
88. ING. MEC. ELEC. ALBERTO SOSA DIAZ Avestruz # 15 Fracc. Las Arboledas Naucalpan Edo. de México Tel. 379.07.37	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO Melchor Ocampo # 171 Mexico D. F. Tel. 518.00.88 Ext. 213
89. ARQ. EVARISTO A. TABOADA MEZA Emilio Carranza # 173 San Andrés Tetepilco México 13, D. F. Tel. 532.90.95	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Fernando # 268 P.B. Tel. 590.84.53
90. ING. FRANCISCO TALAN GONZALEZ Valle de Zumpango # 20 El Mirador Naucalpan. Edo. de Méx. Tel. 560.01.10	INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL Unidad Profesional Zacatenco México 14, D. F.
91. SR. VICTOR ARTURO TALAVERA R. Manuel Cooto # 106-2 Col. Romero de Terreros México 21, D. F. Tel. 554-35-27	INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM Ciudad Universitaria

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
92. SR. ALBERTO TORFER M Taxqueña # 1818 Col. San Francisco Culhuacan Tel. 544.51.46	IBM. DE MEXICO SA. DE C.V. Mariano Escobedo México D. F.
93. SR. LUIS ADELAIDO TOVAR AGUIRRE F. . Villanueba # 43-5 Col. Peralvillo México 2, D. F. Tel. 537.98.20	DIRECCION DE INSTRUMENTACION SISTEMAS E INFORMATICAS Reforma # 503- 3er. Piso México D. F. Tel. 553.75.64
94. ING. Q. JESUS URIZ GARCES Cda. Gloria # 5 Col. Olivar de los Padres México D. F. Tel.	INDUSTRIAS RESISTOL, S.A. Presidente Masarik # 61 Col. Polanco México 5, D. F. Tel.522.71.26
95. SRTA. MA. DEL CARMEN VALDEZ ELIAS Edif. E-12-24 Lomas de Plateros México 19, D. F. Tel. 593.82.48	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Av. de los 100 Metros # 152 México D. F. Tel. 567.66,00 Ext, 2393
96. SR. JUAN ADALBERTO VALDEZ H. Bretaña # 92-3 Col. Zacahuitzco México D. F. Tel. 532.98.90	DIRC.GRAL. DE OBRAS MARITIMAS Insurgentes Sur # 465 Col. Hipódromo Condesa. México, D. F Tel. 564.64.52
97. ING. MEC. ABEL VALDIVIA NUÑEZ Blvd. Popocatepetl # 207 Lomas de Valle Dorado Tlalnepantla, Edo. de Méx Tel. 565.66.31	PETROLEOS MEXICANOS Av. Marina Nacional # 329 Col. Anahuac México 17, D. F Tel. 531.60.52
98. ING. MEC.ELEC. JULIO VARGAS R. Centenario # 136-A1 Col. Merced Gómez México 19, D. F. Tel. 651.47.82	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Av. Universidad F/Mitla Mexico 12, D. F. Tel. 519.12.43

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
99. SR. MANUEL VARGAS VARGAS Ret 7 de Lic. Genaro Garcia # 9 Col. Jardín Balbuena México 9, D. F. Te . 571.64.75	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Miguel Laurent # 840- 8o. Piso México 12, D. F. Tel. 559.16.37
100. RUPERTO VAZQUEZ DOMINGUEZ Petén # 80-4 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 519.74.69	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México 12, D. F. Tel.
101. SR. HELIODORO VENCES VELAZQUEZ Norte 87 B. # 86 Col. Claveria México 16, D. F. Tel. 527.23.84	CEC. DESFI. UNAM Tacuba # 5 México 1, D. F. Tel.
102. SR. GUSTAVO VELAZQUEZ CORICHI Lerdo 304 - B # 507 Col. Tlatelolco México 3, D. F. Tel. 583.37.55	GUANOS Y FERTILIZANTES DE MEXICO, S A Av. Cuauhtemoc # 1236 3er Piso México 12, D. F. Tel. 559.14.66 Ext. 156
103. SR. JOSE ALEJANDRO VILLANUEVA E. Xontepec # 134 Tlalpan Col. Toriello México, D. F. Tel. 573.89.47	DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES FACULTAD DE INGENIERIA Ciudad Universitaria Tel. 548.65.00 Ext 637
104. SR. JUAN VIGNA MORAN Amores # 1628-9 Col. Del Valle México 12, D. F. Tel. 534.98.90	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México 12, D. F. Tel. 530.33.36
105. ING. JORGE WADE CADENA Rinconada Diligencias No. 57 Fracc. Lomas Verdes Naucalpan, Edo. de Méx. Tel. 572.37.54	PETROLEOS MEXICANOS Marina Nacional # 329 Col. Huasteca Mexico 17, D. F TEl. 531.62.23

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS" (DEL 11 DE JUNIO AL 3 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

NOMBRE DIRECCION	EMPRESA DIRECCION
106. SR. PABLO ARMANDO ZARATE A. Isidro Fabela # 405 NTE. Toluca, Edo. de México Tel. 567.83	UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO Ciudad Universitaria Toluca, Edo. de Méx. Tel. 5.45.12
107. SR. RAFAEL ZUNO CARRION 1a. Cerrada de Zaragoza # 5- Bajos Col. Guerrero México 3, D. F. Tel. 592.24.87	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma # 20 Mezzanine México 1, D. F. Tel. 546.85.29
108. ROBERTO CAMARENA RAMOS Sur 81 A 389 # 502 Col. Lorenzo Boturini México 18, D. F. Tel. 552.84.83	CONTACTOS Y ELECTRODOS MALLORY, S. A. Felipe Angeles No. 52 Col. Bellavista Tacubaya Teb. 516.05.60
109. ENRIQUE JIMENEZ RODRIGUEZ Mantua # 59 Col. Residencial Acoxpa México 22, D. F.	FACULTAD DE INGENIERIA UNAM Ciudad Universitaria Tel. 548.96.69
110. SR. RAFAEL OLIVERA BUSTAMANTE Calz. de los Misterios# 629 Col. Industrial México 14, D. F. Tel. 537.04.65	FONDO NACIONAL PARA LOS DESARROLLOS PORTUARIOS Av. México # 199 México 11, D. F. Tel. 584.72.27 y 584.78.44